

HUJAN RANCANGAN BERDASARKAN ANALISIS FREKUENSI REGIONAL DENGAN METODE TL-MOMENT

THE DESIGN RAINFALL BASED ON REGIONAL FREQUENCY ANALYSIS USING TL-MOMENT METHOD

Segel Ginting¹⁾, William M. Putuhena²⁾

^{1,2)}Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air
Jl. Ir. H. Djuanda 193 Bandung, Jawa Barat, Indonesia
E-mail: gintingsegel@gmail.com

Diterima: 19 Maret 2015; Direvisi: Juni 2015; Disetujui: 9 Januari 2016

ABSTRAK

Hujan rancangan dengan menggunakan analisis frekuensi regional memberikan keuntungan pada sekelompok data yang memiliki jumlah data terbatas. Data hujan yang terbatas yang digunakan untuk menghitung besarnya hujan rancangan memiliki tingkat kesalahan yang sangat besar untuk periode ulang yang tinggi. Oleh karena itu, maka digunakan analisis frekuensi regional berdasarkan pendekatan TL-momen. Jenis distribusi yang digunakan terdiri dari tiga yaitu Generalized Extreme Value (GEV), Generalized Pareto (GPA) dan Generalized Logistic (GLO). Ketiga jenis distribusi yang digunakan hanya Generalized Extreme Value (GEV) dan Generalized Logistic (GLO) yang mendekati nilai rata-rata regionalnya berdasarkan TL-Moment Ratio, sementara berdasarkan hasil pengujian Z distribusi menunjukkan Generalized Extreme Value (GEV) memberikan hasil yang terbaik. Dengan demikian, maka hujan rancangan berdasarkan analisis frekuensi regional terhadap data hujan maksimum tahunan, dengan panjang data minimal 10 tahun, menggunakan Generalized Extreme Value (GEV) di DAS Jakarta telah dapat ditentukan.

Kata Kunci: Hujan rancangan, analisis frekuensi, generalized logistic, TL-momen, generalized extreme value

ABSTRACT

The designs rainfall were estimated with the regional frequency analysis provides benefits to a dataset that has a limited amount of data. Minimum data used in calculating the amount of design rainfall has a very large error for higher return period. Therefore, the regional frequency analysis was used based on TL-moments method. There are three types of probability distributions used in this study, namely the Generalized Extreme Value (GEV), Generalized Pareto (GPA) and the Generalized Logistic (GLO). Two of the three types probability distributions are the best choice by the TL-moment ratio diagrams which are Generalized Extreme Value, and Generalized Logistic. An another analysis was conducted by the Z test and the Generalized Extreme Value (GEV) gives the best results. Therefore, the designs rainfall were estimated based on the regional frequency analysis in Jakarta watershed using the Generalized Extreme Value (GEV) has been determined.

Keywords: Design rainfall, frequency analysis, generalized logistic, TL-moment, generalized extreme value

PENDAHULUAN

Perencanaan infrastruktur sumber daya air memerlukan suatu pendekatan yang komprehensif. Salah satu pemahaman yang harus diperhatikan untuk melakukan perencanaan infrastruktur sumber daya air adalah analisis hidrologi pada daerah aliran sungai di mana rencana bangunan tersebut akan dibangun. Analisis hidrologi yang terkait dengan perencanaan infrastruktur tersebut berhubungan dengan bagaimana menentukan debit banjir rancangan. Penentuan debit banjir rancangan idealnya dilakukan melalui data historis kejadian banjir, namun pada kasus tertentu sering digunakan melalui pendekatan hujan rancangan, sehingga sudah menjadi suatu keharusan

bagaimana menentukan hujan rancangan jika data debit yang tersedia terbatas atau tidak ada.

Penentuan hujan rancangan pada suatu pos hujan dilakukan berdasarkan pendekatan statistik, khususnya dengan menggunakan teori peluang. Terdapat beberapa pendekatan yang digunakan untuk menentukan parameter dari suatu distribusi frekuensi. Haan (1977) dalam bukunya *Statistical Methods in Hydrology* menggunakan pendekatan metode momen dan *maximum likelihood* dalam menentukan nilai parameter dari setiap persamaan distribusi. Sementara Kite (1988) menduga besarnya parameter distribusi statistik dengan empat cara, yaitu metode momen, *maximum likelihood*, kuadrat terkecil, dan grafis. Namun, Rao dan Hamed (2000) memperkirakan besarnya

parameter distribusi dengan menggunakan metode momen (MOM), *maximum likelihood* (ML), dan *probability weighted moment* (PWM). Keempat metode tersebut di atas sudah sering digunakan untuk menentukan parameter statistik dari sekumpulan data hujan untuk memperkirakan besarnya hujan rancangan.

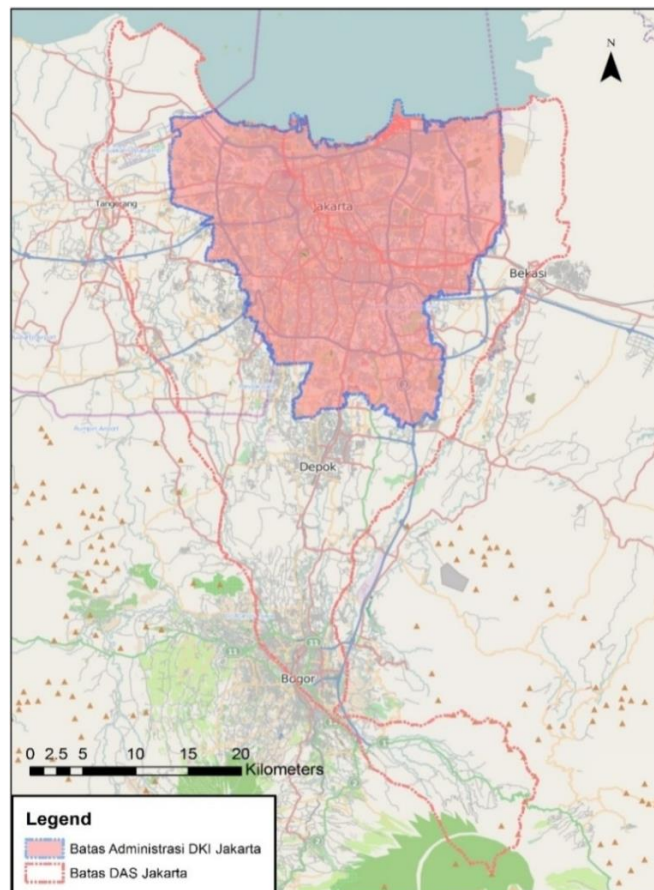
Pendekatan lain untuk menentukan hujan rancangan dapat dilakukan melalui analisis frekuensi regional dengan menggunakan L-momen. Hal ini telah dilakukan oleh Rahmand *et al.* (2013), Hasan dan Ping (2012), Saf (2009), Modarres (2007), Lim (2007), Kumar dan Chatterjee (2005), setelah Hosking dan Wallis (1997) menerbitkan bukunya yang berjudul *Regional Frequency Analysis: an approach based on L-moments*. Data yang umum digunakan dalam analisis frekuensi regional dengan pendekatan L-momen berhubungan dengan data kejadian ekstrim. Beberapa aplikasi yang telah dilakukan menggunakan data hujan harian maksimum tahunan (Norbianto, *et al.*, 2007; Hassan dan Ping, 2012; Rahmand, *et al.*, 2013) dan data debit maksimum (Kumar dan Chatterjee, 2005; Lim, 2007). Metode L-momen ini masih sensitif terhadap data pencilan (*outlier*), namun tidak se-sensitif daripada metode momen.

Metode momen yang disebutkan di atas sudah biasa dilakukan meskipun mengandung kesalahan apabila dipaksakan pada sejumlah data

yang terbatas dan mengandung pencilan (*outlier*). *Outlier* memiliki pengaruh yang tidak semestinya pada perkiraan metode standar seperti yang telah disebutkan seperti kuadrat terkecil, metode momen dan *maximum likelihood*. Hal ini membuat penggunaan metode tersebut di atas masih memerlukan pengujian data terlebih dahulu sebelum digunakan. Untuk mengantisipasi hal tersebut diatas, maka digunakan pendekatan lain yang dapat meminimalisasi permasalahan tersebut. Pendekatan yang digunakan adalah menggunakan analisis frekuensi regional untuk mengantisipasi keterbatasan data dan dengan metode *trimmed L moment (TL moment)* untuk mengatasi adanya *outlier* pada data bersangkutan (Elamir dan Scheult, 2003; Asquith, 2007; Elamir, 2010; Bílková, 2014b).

Maksud dari penelitian ini adalah untuk melakukan analisis frekuensi regional terhadap data hujan harian maksimum tahunan menggunakan metode TL-momen dengan tujuan untuk menentukan besarnya hujan rancangan dari masing-masing pos hujan.

Lokasi studi penelitian ini berada di daerah aliran sungai yang masuk ke Provinsi DKI Jakarta. Sungai-sungai yang masuk ke DKI Jakarta terdapat sekitar 13 sungai yang selanjutnya dinyatakan dengan **DAS Jakarta**. Adapun batasan dari DAS Jakarta tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Daerah lokasi penelitian

KAJIAN PUSTAKA

1 Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi adalah prakiraan seberapa sering suatu kejadian data tertentu akan terjadi. Dalam hidrologi, analisis frekuensi sering digunakan untuk memprakirakan besarnya data ekstrim dimasa mendatang, biasanya dengan istilah "*Flood Frequency Analysis*". Kata *flood* dalam istilah tersebut diperuntukkan untuk data banjir. Istilah lain yang juga sering digunakan adalah "*Hydrological Frequency Analysis*". Istilah ini lebih bersifat umum dan dapat dipergunakan untuk berbagai data hidrologi. Analisis frekuensi hidrologi telah banyak dipergunakan untuk membantu ahli hidrologi dalam memperkirakan besaran data ekstrim hujan dan banjir. Analisis frekuensi umumnya menggunakan beberapa pendekatan distribusi statistik dalam memprediksi kejadian dimasa mendatang dengan tingkat peluang tertentu.

Penggunaan metode momen dalam memperkirakan parameter distribusi telah lama dilakukan disamping dikombinasikan dengan metode *maximum likelihood*, namun metode-metode tersebut memiliki keterbatasan untuk melakukan analisis frekuensi pada kondisi data hidrologi yang tidak terlalu panjang. Apabila dipaksakan, maka akan memiliki bias yang besar. Oleh karena itu, maka dikembangkan metode analisis frekuensi regional untuk meminimalisasi kesalahan akibat data yang terbatas (Hosking dan Wallis, 1997). Analisis frekuensi regional menggunakan pendekatan L-momen salah satu metode yang digunakan untuk mengatasi hal tersebut. L-momen adalah fungsi linier tertentu dari nilai statistik yang diharapkan, pertama sekali diperkenalkan oleh Sillitto pada tahun 1951 (Hosking dan Wallis, 1997) dan secara komprehensif dikaji oleh Hosking pada tahun 1990. L-momen telah dipergunakan untuk aplikasi dalam bidang-bidang seperti penelitian terapan untuk teknik sipil, meteorologi, dan hidrologi (Gubareva dan Gartsman, 2010; Rahmand *et al.*, 2013).

2 Analisis Frekuensi Regional

Analisis frekuensi regional dilakukan pada data atau lokasi yang memiliki karakteristik yang sama. Menentukan karakteristik yang sama dari beberapa data maupun lokasi, dilakukan serangkaian analisis atau tahapan. Hosking dan Wallis (1997) membuat tahapan dalam melakukan analisis frekuensi regional, mulai dari melakukan penyeleksian data, mengidentifikasi wilayah yang homogen, memilih distribusi frekuensi yang sesuai dan memperkirakan variabel dari distribusi yang digunakan.

Analisis frekuensi regional telah diperkenalkan pertama oleh Darlymple pada tahun 1960 dan telah digunakan selama beberapa tahun oleh ahli hidrologi dengan menggunakan prosedur indeks banjir (*index-flood*) (Darlymple, 1960). Indeks banjir (*index-flood*) pada awalnya menggunakan data debit banjir maksimum, namun saat ini istilah *index-flood* digunakan untuk berbagai macam data (Hosking dan Wallis, 1997). Seiring dengan perkembangan, berbagai perbaikan dalam melakukan analisis frekuensi regional telah dilakukan. Hosking dan Wallis (1997) menggunakan pendekatan L-momen untuk melakukan analisis frekuensi regional, dan Shabri, *et al.* (2011) menggunakan TL-momen untuk melakukan analisis frekuensi regional terhadap data hujan maksimum di Malaysia. Liu, J. *et al.* (2014) menggunakan pendekatan analisis frekuensi regional dengan L-momen untuk memperkirakan besarnya kejadian hujan penyebab banjir pada Februari 2007 serta memperkirakan besarnya hujan ekstrim pada 11 pos hujan yang dianalisis. Sementara Ginting (2015) melakukan analisis frekuensi regional dengan L-momen terhadap sejumlah data hujan maksimum tahunan untuk memperkirakan besarnya hujan rancangan yang digunakan untuk membuat peta bahaya banjir di Jakarta.

Pendekatan analisis frekuensi regional dilakukan dengan mengelompokkan data atau informasi dari variabel bebasnya. Dalam ilmu hidrologi, analisis frekuensi regional seringnya digunakan untuk seri data hujan. Series data dari masing-masing pos hujan dapat dianggap satu kelompok jika mempunyai kemiripan sifat, baik sifat statistik maupun fisik. Sifat statistik mencakup antara lain: rata-rata, simpangan baku, varian, *skewness* dan kurtosis, sedangkan sifat fisik meliputi topografi dan sifat fisik lain yang mempengaruhi hujan. Ukuran penyimpangan data dari satu kelompok dapat dilihat dari kumpulan data yang jauh menyimpang dari nilai rata-rata kelompoknya terhadap beberapa sifat statistik seperti yang disebutkan diatas. Cara ini dapat digunakan sebagai langkah awal dalam pemilihan data homogen untuk melakukan analisis frekuensi secara regional.

3 Metode TL-Momen

TL-momen pertama kali diperkenalkan oleh Elamir dan Scheult pada tahun 2003 sebagai alternatif dari L-momen. Metode TL-momen tidak memiliki asumsi adanya rata-rata (*mean*), sehingga metode TL-momen memiliki kemampuan yang lebih baik dalam mengatasi pencilan (*outlier*) yang disebabkan oleh variabel bebasnya. TL-momen merupakan hasil turunan dari L-momen (Asquit, 2002). Metode TL-momen bukan dimaksudkan untuk menggantikan metode L-momen, melainkan

untuk saling melengkapi diantara metode yang sudah ada, terutama dalam situasi ketika data tersebut memiliki *outlier* (Bilkova, 2014a).

Penggunaan metode TL-momen untuk menduga parameter dari suatu distribusi peluang tidak terlalu sensitif terhadap perubahan data variabel bebasnya, karena untuk menduga parameter distribusinya tidak menggunakan parameter rata-rata (*mean*) dan standar deviasi dari data bersangkutan. Hal yang berbeda jika menggunakan metode momen atau sejenis, dimana dalam menduga parameter distribusi peluang, menggunakan nilai rata-rata dan standar deviasi dari data yang digunakan, sehingga jika terjadi perubahan terhadap data yang bersangkutan, akan mengalami perubahan signifikan terhadap dugaan parameter distribusi peluang.

METODOLOGI

Metode yang digunakan untuk menghitung besarnya hujan rancangan adalah dengan menggunakan analisis frekuensi regional berdasarkan pendekatan TL-momen. Data yang digunakan dalam analisis tersebut adalah data curah hujan harian maksimum tahunan. *Flowchart* analisis frekuensi regional dengan TL-momen yang digunakan untuk perhitungan hujan rancangan mengikuti prosedur seperti terlihat pada Gambar 2. Gambar 2 merupakan tahapan yang harus diselesaikan agar dapat menentukan hujan rancangan dari masing-masing pos hujan. Berikut ini dijelaskan metode yang digunakan pada setiap tahapan yang terdapat pada Gambar 2.

1 Analisis Frekuensi Regional

Analisis frekuensi regional yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan metode yang telah dikembangkan oleh Hosking dan Wallis

(1997) dengan melakukan modifikasi terhadap perkiraan parameter statistik dari L-momen menjadi TL-momen.

2 Metode TL-Momen

Tahapan dalam menyelesaikan TL-momen hampir sama dengan L-momen. Sampel data $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ dari sebuah fungsi distribusi kontiniu $F(\cdot)$ dengan fungsi inversi $Q(F)$ dan data di urut $X_{1;n} \leq X_{2;n} \leq X_{3;n} \leq \dots \leq X_{n;n}$. Dengan demikian, maka L-momen ke- r (λ_r) dinyatakan dalam bentuk persamaan berikut ini:

$$\lambda_r = r^{-1} \sum_{k=0}^{r-1} (-1)^k \binom{r-1}{k} E(X_{r-k;r}),$$

$r = 1, 2, \dots$ (1)

Dalam metode TL-momen yang diperkenalkan oleh Elmaier, *et al.* (2003) mengharapkan $E(X_{r-k;r})$ pada persamaan untuk L-momen digantikan dengan $E(X_{r+t_1-k;r+t_1+t_2})$. Hal ini menyatakan bahwa untuk masing-masing r , ukuran sampel konseptual akan meningkat dari r menjadi $r + t_1 + t_2$ dan hanya bekerja dengan mengharapkan order r dari $Y_{1+t_1;r+t_1+t_2}, \dots, Y_{t_1-r;r+t_1+t_2}$ dengan mengecilkan t_1 dan membesarkan t_2 dari sampel konseptual. TL-momen ke- r ($\lambda_r^{(t_1, t_2)}$) didefinisikan sebagai berikut:

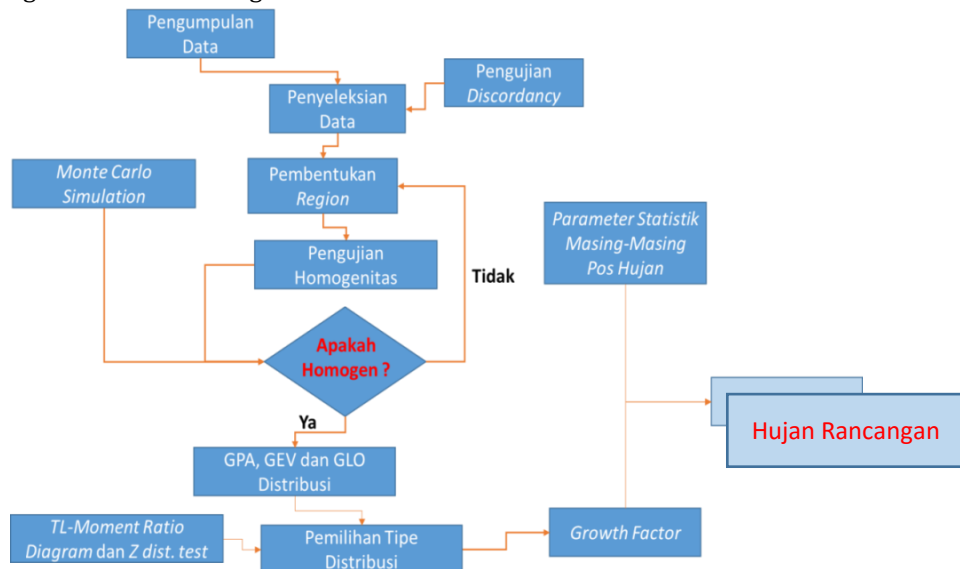
$$\lambda_r^{(t_1, t_2)} = r^{-1} \sum_{k=0}^{r-1} (-1)^k \binom{r-1}{k} E(X_{r+t_1-k;r+t_1+t_2}),$$

$r = 1, 2, \dots$ (2)

Untuk $t_1 = t_2 = 0$, maka TL-momen akan sama dengan L-momen dan ketika $t_1 = t_2 = 1$, maka TL-momen ke- r didefinisikan berikut ini:

$$\lambda_r^{(t)} = r^{-1} \sum_{k=0}^{r-1} (-1)^k \binom{r-1}{k} E(X_{r+t-k;r+2t}),$$

$r = 1, 2, \dots$ (3)



Gambar 2 Prosedur menghitung hujan rancangan dengan analisis frekuensi regional menggunakan TL-momen

Dalam penelitian ini, TL-momen yang digunakan untuk $t = 1$, dengan demikian, maka empat TL-momen yang pertama dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\lambda_1^{(1)} = E[X_{2:3}] = 6\beta_1 - 6\beta_2 \dots \dots \dots (4)$$

$$\lambda_2^{(1)} = \frac{1}{2} E[X_{4:5} - X_{2:4}] = 6(-2\beta_3 + 3\beta_2 - \beta_1) \dots \dots (5)$$

$$\lambda_3^{(1)} = \frac{1}{3} E[X_{4:5} - 2X_{3:5} + X_{2:5}] = \frac{20}{3} (-5\beta_4 + 10\beta_3 - 6\beta_2 + \beta_1) \dots \dots \dots (6)$$

$$\lambda_4^{(1)} = \frac{1}{4} E[X_{5:6} - 3X_{4:6} + 3X_{3:6} - X_{2:6}] = \frac{15}{2} (-14\beta_5 + 35\beta_4 - 30\beta_3 + 10\beta_2 - \beta_1) \dots \dots \dots (7)$$

Alternatif lain dari empat TL-momen pertama dapat dinyatakan berikut ini:

$$\lambda_1^{(1)} = 6 \int_0^1 Q(u)u(1-u)du \dots \dots \dots (8)$$

$$\lambda_2^{(1)} = 6 \int_0^1 Q(u)u(1-u)(2u-1)du \dots \dots \dots (9)$$

$$\lambda_3^{(1)} = \frac{20}{3} \int_0^1 Q(u)u(1-u)(5u^2 - 5u + 1)du \dots \dots \dots (10)$$

$$\lambda_4^{(1)} = \frac{15}{2} \int_0^1 Q(u)u(1-u)(14u^3 - 21u^2 + 9u - 1)du \dots \dots \dots (11)$$

3 TL-Momen Contoh (Sample)

$$l_1^{(1)} = \sum_{i=2}^{n-1} \left[\frac{\binom{i-1}{1} \binom{n-i}{1}}{\binom{n}{3}} \right] X_{i:n} = \left[\frac{6(i-1)(n-i)}{n(n-1)(n-2)} \right] X_{i:n} \dots \dots \dots (15)$$

$$l_2^{(1)} = \frac{1}{2} \sum_{i=2}^{n-1} \left[\frac{\binom{i-1}{2} \binom{n-i}{1} - \binom{i-1}{1} \binom{n-i}{2}}{\binom{n}{4}} \right] X_{i:n} \dots \dots \dots (16)$$

$$l_3^{(1)} = \frac{1}{3} \sum_{i=2}^{n-1} \left[\frac{\binom{i-1}{3} \binom{n-i}{1} - 2\binom{i-1}{2} \binom{n-i}{2} + \binom{i-1}{1} \binom{n-i}{3}}{\binom{n}{5}} \right] X_{i:n} \dots \dots \dots (17)$$

$$l_4^{(1)} = \frac{1}{4} \sum_{i=2}^{n-1} \left[\frac{\binom{i-1}{4} \binom{n-i}{1} - 3\binom{i-1}{3} \binom{n-i}{2} + 3\binom{i-1}{2} \binom{n-i}{3} - \binom{i-1}{1} \binom{n-i}{4}}{\binom{n}{6}} \right] X_{i:n} \dots \dots (18)$$

Dengan mempertimbangkan dugaan populasi TL-momen yang merupakan kombinasi linear dari urutan statistik tertentu $X_{1:n} \leq X_{2:n} \leq X_{3:n}, \dots \leq X_{n:n}$ terhadap sebuah data acak $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ dengan jumlah data n dari populasi.

$$l_r^{(t)} = \frac{1}{r} \sum_{i=t+r}^{n-t} \left[\frac{\sum_{k=0}^{r-1} (-1)^k \binom{r-1}{k} \binom{i-1}{r+t-1-k} \binom{n-i}{t+k}}{\binom{n}{r+2t}} \right] X_{i:n}$$

Untuk $r = 1$, maka diperoleh TL-momen pertama contoh

$$l_1^{(t)} = \sum_{i=t+1}^{n-t} w_{i:n}^{(t)} \cdot X_{i:n} \dots \dots \dots (12)$$

Dimana bobotnya dihitung dengan persamaan berikut:

$$w_{i:n}^{(t)} = \frac{\binom{i-1}{t} \binom{n-i}{t}}{\binom{n}{2t+1}} \dots \dots \dots (13)$$

Hasil di atas dapat digunakan untuk memperkirakan besarnya parameter TL-momen seperti *TL-skewness* ($t_3^{(t)}$) dan *TL-kurtosis* ($t_4^{(t)}$) dengan perbandingan sederhana berikut ini:

$$t_3^{(t)} = \frac{l_3^{(t)}}{l_2^{(t)}} t_4^{(t)} = \frac{l_4^{(t)}}{l_2^{(t)}} \dots \dots \dots (14)$$

Untuk setiap distribusi dalam fungsi *TL-momen* dapat dinyatakan dalam:

4 Uji Discordancy

Uji *discordancy* dilakukan untuk melihat penyimpangan suatu pos hujan dari suatu kelompok data. Pos hujan yang keluar dari kelompoknya dapat dipikirkan untuk tidak digunakan. Penyimpangan pos hujan dalam satu kelompok/wilayah dapat diukur dan dirumuskan seperti berikut (Hosking dan Wallis, 1997):

$$D_i = \frac{1}{3} N(u_i - \bar{u})^T A^{-1} (u_i - \bar{u}) \dots\dots\dots (19)$$

$$u_i = (t^i t_3^i t_4^i)^T \dots\dots\dots (20)$$

$$\bar{u} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_i \dots\dots\dots (21)$$

$$A = \sum_{i=1}^N (u_i - \bar{u})(u_i - \bar{u})^T \dots\dots\dots (22)$$

Dengan:

- N : Jumlah pos hujan dalam satu kelompok
- u_i : vektor/matriks dari; τ : TL- CV; τ_3 : TL- *skewness*; τ_4 : TL-kurtosis
- T : transpose dari matrik
- Di : besarnya penyimpangan

Jika $D_i \geq 3$ untuk jumlah $N \geq 15$ dapat dianggap sebagai pos yang menyimpang dari kelompok tersebut. (Hosking, 1997). Tabel 1 menampilkan nilai kritis untuk uji *discordancy* (D_i).

Tabel 1 Nilai penyimpangan untuk uji *discordancy* (D_i) (Hosking dan Wallis, 1997)

| N (Jumlah pos) | Nilai Kritis (D_i) | N (Jumlah pos) | Nilai Kritis (D_i) |
|-------------------|---------------------------|-------------------|---------------------------|
| 5 | 1.333 | 10 | 2.491 |
| 6 | 1.648 | 11 | 2.632 |
| 7 | 1.917 | 12 | 2.757 |
| 8 | 2.140 | 13 | 2.869 |
| 9 | 2.329 | 14 | 2.971 |
| | | ≥ 15 | 3 |

5 Uji heterogenitas

Jika variabilitas dari satu kumpulan data cukup besar, maka kemungkinan bukan berasal dari 1 populasi, hal ini dapat diuji dengan rata-rata uji heterogenitas TL-momen. Pada uji ini data yang ada dibangkitkan sebanyak 1000 dengan *random data* sesuai dengan identifikasi distribusi yang diperoleh. Kelompok data yang diuji dibuat tiruannya dengan data yang dibangkitkan sebanyak 15 kali.

Estimasi regional untuk parameter TL-momen yaitu t^i , t_3^i dan t_4^i untuk lokasi i dan simpangan bakunya sehubungan dengan perbedaan panjang pencatatan data (n) dituliskan dalam rumus berikut (Hosking dan Wallis, 1997):

$$t^R = \frac{\sum_{i=1}^N n_i t^{(i)}}{\sum_{i=1}^N n_i} \dots\dots\dots (23)$$

$$V = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^N n_i (t^{(i)} - t^R)^2}{\sum_{i=1}^N n_i} \right\}^{0.5} \dots\dots\dots (24)$$

Dari simulasi yang telah dilakukan, ditentukan besaran rata-rata (μ_v) dan simpangan baku (σ_v) dari V kemudian ukuran heterogenitas dapat dihitung seperti berikut ini:

$$H = \frac{(V - \mu_v)}{\sigma_v} \dots\dots\dots (25)$$

Dikatakan homogen jika $H < 1$ dan heterogen jika $H \geq 2$ (Hosking dan Wallis, 1997).

6 Pemilihan Distribusi

Memilih distribusi frekuensi yang digunakan untuk proses selanjutnya dapat dilakukan dengan melihat *Diagram TL-Moment Ratio*. Diagram ini merupakan grafik yang menghubungkan antara variabel TL-kurtosis dengan TL-*skewness*. Diagram ini digunakan untuk penilaian awal, distribusi mana yang sesuai dengan data yang digunakan. Untuk memastikan secara pasti distribusi yang sesuai dapat dilakukan dengan analisis uji Z distribusi.

Uji Distribusi Z

Uji ini dilakukan untuk menentukan distribusi yang sesuai dengan data pengamatan. Persamaan yang digunakan untuk melakukan uji Z adalah sebagai berikut:

$$Z^{Dist} = \frac{(t_3^R - \tau_3^{Dist})}{\sigma_4} \dots\dots\dots (26)$$

Diagram TL-Moment Ratio

Diagram TL-momen merupakan hubungan antara τ_3 dan τ_4 untuk berbagai distribusi. Pemilihan distribusi yang sesuai berdasarkan rata-rata dari τ_3 dan τ_4 regional mendekati garis teoritisnya. Diagram ini juga menunjukkan penyebaran data membentuk kelompok (*cloud*) atau tersebar sebagai indikasi adanya penyimpangan dari suatu lokasi yang mungkin bukan anggota dari kelompok tersebut.

Persamaan polinomial yang digunakan untuk membentuk diagram TL momen adalah sebagai berikut (Shabri, *et al.*, 2011):

$$\tau_4^{DIS} = \alpha_0 + \alpha_1 \tau_3^{(1)} + \alpha_2 (\tau_3^{(1)})^2 + \alpha_3 (\tau_3^{(1)})^3 + \alpha_4 (\tau_3^{(1)})^4 \dots\dots\dots (27)$$

Koefisien persamaan dari *TL-moment ratio* untuk distribusi GEV, GPA dan GLD seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Koefisien persamaan dari *TL moments ratio* (Shabri, et al., 2011)

| Distribusi | α_0 | α_1 | α_2 | α_3 | α_4 |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| GEV | 0.0576 | 0.0942 | 0.9183 | -0.0745 | 0.0373 |
| GPA | 0 | 0.1610 | 0.9904 | -0.1295 | 0.0184 |
| GLD | 0.0833 | 0 | 0.9450 | 0 | 0 |

7 Hujan Rancangan Berdasarkan Indeks Banjir (*Index Flood*) dan Faktor Peningkatan (*Growth Factor*)

Setelah distribusi peluang terpilih dalam satu wilayah, maka perhitungan distribusi frekuensi dapat dilakukan. Hubungan antara distribusi frekuensi di lokasi berbeda dalam satu wilayah diyakini identik dengan analisis frekuensi regional. Untuk itu hujan rancangan, $R_i(F)$ dapat dirumuskan seperti berikut:

$$R_i(F) = \mu_i * Q(u) \dots\dots\dots (28)$$

dengan:

- $R_i(F)$: hujan rancangan dengan tingkat peluang yang terlampaui di pos hujan ke-*i*
- i* : pos hujan ke- *i*
- μ_i : *index flood* di pos hujan *i* yang merupakan rata-rata dari nilai pengamatan untuk metode langsung atau dapat diperkirakan secara regional dengan analisis regresi untuk metode tidak langsung seperti berikut:

$$\mu_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n r_j \dots\dots\dots (29)$$

$Q(u)$: faktor pertumbuhan kelompok (*regional growth factor*) yang berlaku untuk *N* pos hujan dengan tingkat peluang yang terlampaui (*u*)

- α : *scale*
- ξ : *location*
- k : *shape*

Growth factor dari skala regional memerlukan wilayah yang homogen dari setiap jenis distribusi yang digunakan. Analisis frekuensi regional dilakukan terhadap data hujan harian maksimum tahunan sebagai proses untuk menentukan besarnya hujan rancangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1 Pengumpulan Data

Data hujan harian maksimum tahunan umumnya digunakan untuk melakukan perhitungan hujan rancangan pada suatu daerah aliran sungai (DAS). Data ini diperoleh dari berbagai instansi seperti BMKG dan BBWS Ciliwung-Cisadane. Periode ketersediaan data yang digunakan dalam studi ini sangat bervariasi mulai dari tahun 1864 s/d 2014.

Pos hujan yang berada di DAS Jakarta dan sekitarnya yang berhasil dikumpulkan sekitar 122 pos hujan. Data hujan maksimum tahunan dari masing-masing pos hujan tersebut selanjutnya digunakan untuk analisis curah hujan rancangan, setelah terlebih dahulu melakukan penyeleksian kualitas data secara manual maupun statistik. Distribusi pos hujan di DAS Jakarta dapat dilihat pada Gambar 3. Data curah hujan harian maksimum tahunan yang memiliki data terbanyak adalah pos hujan Jakarta (27) yaitu mencapai 150 tahun data, dan yang terpendek adalah pos hujan Setiabudi (28c) dengan panjang data sebanyak 10 tahun data. Pos hujan yang memiliki data kurang dari 10 tahun data secara otomatis tidak digunakan dalam proses selanjutnya. Pos hujan yang memiliki data cukup panjang di DAS Jakarta tidak ditemukan adanya kecenderungan mengalami peningkatan ataupun penurunan yang berarti dari masa ke masa, sehingga sangat baik untuk digunakan.

2 Penyeleksian Data Hujan Harian Maksimum

Data hujan harian maksimum tahunan dari 122 pos hujan telah berhasil dikumpulkan dengan panjang data minimal sebanyak 10 tahun. Data dari pos hujan tersebut selanjutnya, dianalisis dengan melakukan penyeleksian terhadap kualitas datanya. Penyeleksian pos hujan terhadap kualitas data dilakukan secara manual maupun statistik. Penyeleksian data hujan harian maksimum dari masing-masing pos secara manual dapat dilakukan dengan melihat ketersediaan data secara keseluruhan, dengan mempertimbangkan hal-hal berikut ini:

- a. **Hujan pada Bulan Desember s/d Maret tidak tersedia.**
Data hujan harian maksimum tahunan pada sebuah pos hujan tidak digunakan datanya, jika data hujan hariannya tidak tersedia atau kosong pada Bulan Desember s/d Maret pada tahun bersangkutan. Namun, jika data hujan harian maksimum tahunannya mencapai 100 mm atau lebih masih dipertimbangkan untuk di analisis.
- b. **Jumlah hujan selama setahun pada tahun yang bersangkutan < 1000 mm.**
Curah hujan harian maksimum tahunan pada suatu pos hujan tidak digunakan datanya apabila total hujan selama setahun pada tahun yang bersangkutan kurang dari 1000 mm. Apabila curah hujan harian maksimum tahunan mencapai 100 mm atau lebih, masih

dipertimbangkan untuk di analisis. Curah hujan tahunan yang terjadi di DAS Jakarta sangat bervariasi. Kisaran curah hujan tahunan yang terjadi yaitu antara 1500 s/d 4000 mm. Kecuali pada kasus-kasus tertentu seperti pada tahun 1997 dimana curah hujan kurang dari 1000 mm pada pos hujan Jakarta (27) karena terjadi anomali hujan yaitu *el-nino* yang menyebabkan kekeringan yang berkepanjangan.

Jika data hujan pada suatu pos hujan memiliki kriteria di atas, maka secara otomatis data hujan harian maksimumnya tidak digunakan atau diikutsertakan, namun apabila data hujan harian maksimumnya melebihi 100 mm, maka masih diperimbangkan untuk diikutsertakan dalam analisis. Kriteria hujan harian di atas 100 mm tersebut menurut Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) merupakan kejadian hujan ekstrim, sehingga digunakan sebagai batasan untuk menentukan hujan harian maksimum pada kondisi data dengan kriteria di atas.

Penyeleksian data secara manual hanya memberikan atau mendapatkan data kejadian hujan ekstrim. Untuk melihat kondisi data apakah konsisten atau tidak, maka perlu dilakukan pengujian secara statistik. Penyeleksian data hujan harian maksimum tahunan secara statistik dilakukan beberapa pengujian seperti pengujian berikut ini:

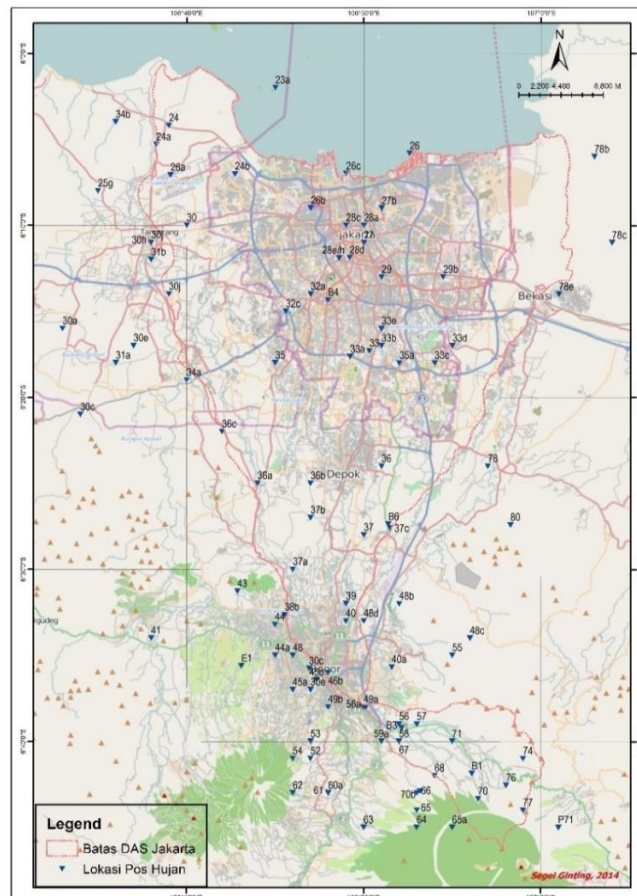
1. Pengujian outlier

2. Pengujian tren
3. Pengujian stabilitas dari variansi
4. Pengujian presistensi
5. dan Pengujian independensi dan stasionaritas.

Pengujian secara statistik telah dilakukan terhadap 122 pos hujan dan yang dapat diterima untuk analisis selanjutnya sebanyak 116 pos hujan. Terdapat sebanyak 6 pos yang tidak layak untuk diteruskan karena tidak lolos pengujian, dan keenam pos hujan tersebut sebagai berikut: pos Lontar/Benyawan (25h), Bebojong (25j), Tanah Abang (27a), Curug afd Tangerang (30a), Kp. Kandang (33f), dan Serpong Pengairan (34c).

3 Analisis Frekuensi Regional Terhadap Data Hujan Harian Maksimum

Analisis frekuensi regional terhadap data hujan maksimum tahunan di Jakarta sangat baik dilakukan mengingat ketersediaan data sangat terbatas. Umumnya data yang tersedia belum memadai untuk menentukan besarnya hujan rancangan dengan periode ulang yang besar (diatas 100 tahun). Jika diperhatikan kondisi data yang telah lolos seleksi, ketersediaan data berkisar mulai dari 10 s/d 150 tahun data. Jadi secara umum, jika melakukan analisis frekuensi dari masing-masing pos mengalami kendala untuk menentukan periode ulang yang lebih tinggi dari jumlah data yang dimiliki.



Tabel 3 Parameter TL-momen untuk masing-masing pos hujan

| No. | No.Sta | Nama Sta. | n | max | Mean | Stdev | CV | λ1 | λ2 | λ3 | λ4 | TL-CV | TL-Cs | TL-Ck |
|-----|--------|----------------------------------|-----|-----|--------|-------|------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 22 | Edam | 61 | 240 | 111.90 | 40.51 | 2.76 | 106.57 | 9.87 | 1.80 | 1.66 | 0.09 | 0.18 | 0.17 |
| 2 | 23a | Kuiper (Eiland) | 21 | 289 | 131.57 | 54.03 | 2.44 | 124.90 | 13.60 | 1.59 | 1.67 | 0.11 | 0.12 | 0.12 |
| 3 | 24 | Pangkalan | 23 | 216 | 108.83 | 50.46 | 2.16 | 101.77 | 14.03 | 4.45 | 2.81 | 0.14 | 0.32 | 0.20 |
| 4 | 24a | Teluknaga | 34 | 223 | 112.21 | 47.12 | 2.38 | 107.10 | 14.20 | 2.53 | 0.59 | 0.13 | 0.18 | 0.04 |
| 5 | 24b | EMPANG KAMAL MUARA | 20 | 160 | 100.70 | 24.05 | 0.24 | 98.62 | 6.69 | 0.90 | 0.92 | 0.07 | 0.13 | 0.14 |
| 6 | 25 | Mauk | 58 | 290 | 104.88 | 42.63 | 0.41 | 100.26 | 10.56 | 1.25 | 0.73 | 0.11 | 0.12 | 0.07 |
| 7 | 25a | Kresek | 62 | 173 | 90.53 | 25.90 | 0.29 | 86.84 | 6.75 | 1.43 | 0.95 | 0.08 | 0.21 | 0.14 |
| 8 | 25b | Blaraja | 67 | 200 | 95.58 | 29.28 | 0.31 | 92.36 | 8.15 | 0.77 | 0.19 | 0.09 | 0.09 | 0.02 |
| 9 | 25c | Cilongok | 29 | 300 | 115.14 | 48.05 | 0.42 | 108.66 | 10.89 | 1.31 | 1.07 | 0.10 | 0.12 | 0.10 |
| 10 | 25g | Sapatan | 19 | 192 | 99.84 | 32.38 | 0.32 | 95.75 | 7.62 | 0.25 | 0.99 | 0.08 | 0.03 | 0.13 |
| 11 | 26 | Tanjungpriuk | 88 | 260 | 120.81 | 45.65 | 0.38 | 115.64 | 12.72 | 1.90 | 1.14 | 0.11 | 0.15 | 0.09 |
| 12 | 26a | Cengkareng | 78 | 397 | 102.97 | 60.13 | 0.58 | 94.45 | 14.80 | 2.09 | 0.91 | 0.16 | 0.14 | 0.06 |
| 13 | 26b | Pekulitan | 15 | 151 | 98.07 | 35.43 | 0.36 | 99.03 | 12.62 | -0.05 | -0.45 | 0.13 | 0.00 | -0.04 |
| 14 | 26c | Bandan / Aquarium | 16 | 205 | 99.31 | 48.65 | 0.49 | 91.36 | 13.15 | 3.64 | 2.67 | 0.14 | 0.28 | 0.20 |
| 15 | 26d | Cilincing | 23 | 200 | 135.83 | 54.16 | 0.40 | 136.13 | 21.86 | 0.32 | -3.66 | 0.16 | 0.01 | -0.17 |
| 16 | 27 | Batavia/Jakarta Pusat | 150 | 286 | 111.13 | 40.98 | 0.37 | 105.56 | 11.31 | 2.19 | 0.79 | 0.11 | 0.19 | 0.07 |
| 17 | 27b | Kemayoran | 33 | 330 | 111.61 | 52.37 | 0.47 | 102.58 | 10.02 | 2.06 | 1.46 | 0.10 | 0.21 | 0.15 |
| 18 | 28 | Manggarai (P.A) | 10 | 248 | 122.40 | 66.98 | 0.55 | 119.88 | 21.55 | -2.95 | -0.60 | 0.18 | -0.14 | -0.03 |
| 19 | 28a | Manggarai | 22 | 164 | 110.95 | 24.42 | 0.22 | 109.58 | 7.17 | 0.88 | 0.28 | 0.07 | 0.12 | 0.04 |
| 20 | 28c | Setiabudi | 12 | 201 | 118.67 | 42.60 | 0.36 | 117.43 | 13.01 | -0.72 | -0.38 | 0.11 | -0.06 | -0.03 |
| 21 | 28d | Waduk Melati | 12 | 223 | 119.50 | 60.35 | 0.50 | 111.05 | 19.23 | 7.23 | 3.06 | 0.17 | 0.38 | 0.16 |
| 22 | 28e/h | Pintu Air Karet | 20 | 200 | 100.80 | 46.47 | 0.46 | 95.41 | 12.98 | 1.92 | 2.18 | 0.14 | 0.15 | 0.17 |
| 23 | 29 | Jatinegara (Mister Cornelis) | 69 | 217 | 111.25 | 38.32 | 0.34 | 108.17 | 10.93 | 1.55 | 1.05 | 0.10 | 0.14 | 0.10 |
| 24 | 29a | Cipinang Melayu | 10 | 175 | 102.80 | 38.12 | 0.37 | 94.67 | 12.19 | 5.05 | 1.36 | 0.13 | 0.41 | 0.11 |
| 25 | 29b | Klender ((BPMD) | 16 | 215 | 119.38 | 48.88 | 0.41 | 115.74 | 14.88 | 1.68 | 0.89 | 0.13 | 0.11 | 0.06 |
| 26 | 30 | Tangerang | 88 | 263 | 99.50 | 38.83 | 0.39 | 93.37 | 8.56 | 1.81 | 1.06 | 0.09 | 0.21 | 0.12 |
| 27 | 30b | Tigaraksa | 46 | 170 | 91.67 | 29.17 | 0.32 | 88.25 | 8.76 | 1.58 | 0.31 | 0.10 | 0.18 | 0.03 |
| 28 | 30c | Parangpanjang | 60 | 250 | 104.83 | 37.61 | 0.36 | 100.56 | 10.16 | 1.58 | 0.63 | 0.10 | 0.16 | 0.06 |
| 29 | 30e | Lengkong Timur | 48 | 220 | 98.29 | 34.06 | 0.35 | 94.97 | 8.68 | 0.96 | 0.93 | 0.09 | 0.11 | 0.11 |
| 30 | 30f | Tanah Tinggi | 17 | 197 | 90.76 | 32.83 | 0.36 | 84.21 | 6.22 | 1.22 | 1.20 | 0.07 | 0.20 | 0.19 |
| 31 | 30h | Pasir Tengah | 33 | 205 | 89.27 | 34.38 | 0.39 | 85.05 | 8.23 | 1.72 | 0.93 | 0.10 | 0.21 | 0.11 |
| 32 | 31a | Pondok Jagung | 21 | 190 | 92.05 | 34.26 | 0.37 | 88.95 | 8.30 | 0.49 | 1.42 | 0.09 | 0.06 | 0.17 |
| 33 | 31 | Sudimara | 10 | 138 | 97.90 | 31.66 | 0.32 | 98.63 | 13.22 | -0.75 | -3.10 | 0.13 | -0.06 | -0.23 |
| 34 | 31a | Pondok Jagung | 21 | 190 | 92.05 | 34.26 | 0.37 | 88.95 | 8.30 | 0.49 | 1.42 | 0.09 | 0.06 | 0.17 |
| 35 | 31b | Perk. Karawaci | 23 | 136 | 86.09 | 29.78 | 0.35 | 85.56 | 9.37 | 0.51 | 1.55 | 0.11 | 0.05 | 0.17 |
| 36 | 32a | Kebayoran Lama | 33 | 201 | 96.03 | 31.77 | 0.33 | 91.27 | 6.18 | 0.92 | 1.65 | 0.07 | 0.15 | 0.27 |
| 37 | 32b | Kebayoran Baru | 16 | 170 | 78.56 | 39.74 | 0.51 | 73.61 | 11.57 | 2.07 | 1.67 | 0.16 | 0.18 | 0.14 |
| 38 | 32c | Pondok Betung | 35 | 340 | 116.46 | 48.93 | 0.42 | 108.60 | 8.44 | 0.83 | 1.20 | 0.08 | 0.10 | 0.14 |
| 39 | 33 | Pasar Minggu | 86 | 214 | 103.72 | 28.44 | 0.27 | 100.54 | 7.08 | 1.04 | 0.78 | 0.07 | 0.15 | 0.11 |
| 40 | 33a | Ragunan | 60 | 182 | 97.25 | 27.17 | 0.28 | 95.46 | 7.47 | 0.40 | 0.87 | 0.08 | 0.05 | 0.12 |
| 41 | 33b | Jatipadang | 50 | 176 | 97.11 | 31.74 | 0.33 | 93.72 | 9.41 | 1.62 | 0.65 | 0.10 | 0.17 | 0.07 |
| 42 | 33c | Cililitan (Halim Perdana Kusuma) | 41 | 250 | 96.05 | 42.11 | 0.44 | 88.24 | 9.05 | 1.81 | 1.14 | 0.10 | 0.20 | 0.13 |
| 43 | 33d | Pondok-Gede | 23 | 365 | 111.26 | 59.31 | 0.53 | 101.16 | 7.62 | 0.58 | 0.31 | 0.08 | 0.08 | 0.04 |
| 44 | 33e | Tanjung Barat | 16 | 166 | 95.44 | 31.38 | 0.33 | 90.96 | 9.65 | 1.79 | 0.40 | 0.11 | 0.19 | 0.04 |
| 45 | 34a | Serpong | 72 | 199 | 100.69 | 29.55 | 0.29 | 99.14 | 8.40 | 0.36 | 0.66 | 0.08 | 0.04 | 0.08 |
| 46 | 34b | Kalimati | 34 | 160 | 103.15 | 36.86 | 0.36 | 103.25 | 13.25 | 0.11 | -0.72 | 0.13 | 0.01 | -0.05 |
| 47 | 35 | Ciputat | 33 | 267 | 95.64 | 43.16 | 0.45 | 89.72 | 9.69 | 1.56 | 0.61 | 0.11 | 0.16 | 0.06 |
| 48 | 35a | Paw eja | 18 | 142 | 85.28 | 25.39 | 0.30 | 85.89 | 6.41 | -0.74 | 1.04 | 0.07 | -0.11 | 0.16 |
| 49 | 36 | Depok | 111 | 249 | 119.79 | 39.18 | 0.33 | 115.97 | 10.24 | 1.35 | 1.09 | 0.09 | 0.13 | 0.11 |
| 50 | 36a | Parung | 51 | 225 | 101.55 | 33.32 | 0.33 | 97.19 | 8.12 | 0.87 | 0.74 | 0.08 | 0.11 | 0.09 |
| 51 | 36b | Sawangan | 43 | 231 | 99.37 | 40.59 | 0.41 | 97.59 | 10.55 | -0.47 | 0.83 | 0.11 | -0.04 | 0.08 |
| 52 | 36c | Gunung Sindur | 44 | 212 | 100.66 | 41.19 | 0.41 | 97.09 | 10.24 | 1.58 | 1.37 | 0.11 | 0.15 | 0.13 |
| 53 | 37 | Bojonggede | 88 | 190 | 113.92 | 27.28 | 0.24 | 112.91 | 7.36 | 0.52 | 0.73 | 0.07 | 0.07 | 0.10 |
| 54 | 37a | Land Bojonggede | 28 | 161 | 119.64 | 23.27 | 0.19 | 118.80 | 8.12 | 0.84 | -0.46 | 0.07 | 0.10 | -0.06 |
| 55 | 37b | Citajam | 35 | 216 | 111.00 | 31.00 | 0.28 | 108.88 | 8.77 | 0.31 | 0.06 | 0.08 | 0.04 | 0.01 |
| 56 | 37c | Cibinong | 16 | 180 | 111.19 | 32.47 | 0.29 | 108.83 | 8.53 | 1.31 | 1.80 | 0.08 | 0.15 | 0.21 |
| 57 | 38b | Semplak | 28 | 192 | 112.93 | 28.24 | 0.25 | 110.40 | 7.15 | 0.26 | 0.55 | 0.06 | 0.04 | 0.08 |
| 58 | 39 | Ciluar (Land Ciluar) | 25 | 206 | 132.24 | 31.74 | 0.24 | 131.47 | 8.23 | 0.65 | 1.34 | 0.06 | 0.08 | 0.16 |

Tabel 3 Parameter TL-momen untuk masing-masing pos hujan (lanjutan)

| No. | No.Sta | Nama Sta. | n | max | Mean | Stdev | CV | λ_1 | λ_2 | λ_3 | λ_4 | TL-CV | TL-Cs | TL-Ck |
|-----|--------|-------------------------------------|-----|-----|--------|--------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|-------|-------|
| 59 | 40 | Kedung Alang | 26 | 190 | 137.54 | 23.72 | 0.17 | 135.35 | 6.99 | 1.39 | 0.20 | 0.05 | 0.20 | 0.03 |
| 60 | 40a | Pasirmaung | 35 | 188 | 129.97 | 25.34 | 0.19 | 128.55 | 8.03 | 0.26 | 0.44 | 0.06 | 0.03 | 0.06 |
| 61 | 41 | Tegalkemang | 25 | 226 | 125.40 | 29.63 | 0.24 | 122.82 | 7.09 | 0.32 | 0.14 | 0.06 | 0.04 | 0.02 |
| 62 | 43 | Cimulang | 60 | 195 | 121.52 | 22.73 | 0.19 | 121.09 | 6.28 | -0.02 | 0.28 | 0.05 | 0.00 | 0.04 |
| 63 | 44 | Dramaga | 48 | 280 | 125.92 | 42.29 | 0.34 | 119.12 | 9.62 | 1.95 | 1.44 | 0.08 | 0.20 | 0.15 |
| 64 | 44a | Sindangbarang (Ond.Dramaga) | 16 | 172 | 110.88 | 29.31 | 0.26 | 111.17 | 7.17 | -0.36 | 1.38 | 0.06 | -0.05 | 0.19 |
| 65 | 45 | Ciblagung (Ciomas) | 13 | 250 | 136.85 | 39.83 | 0.29 | 131.58 | 8.20 | -1.64 | -0.02 | 0.06 | -0.20 | 0.00 |
| 66 | 45a | Ciomas | 46 | 301 | 131.76 | 41.79 | 0.32 | 125.51 | 8.19 | 1.36 | 1.76 | 0.07 | 0.17 | 0.22 |
| 67 | 45b | Pancasan (Ciblagung) | 17 | 156 | 131.82 | 16.18 | 0.12 | 132.91 | 5.44 | -0.50 | 0.13 | 0.04 | -0.09 | 0.02 |
| 68 | 30f | Tanah Tinggi | 110 | 260 | 128.55 | 32.65 | 0.25 | 125.89 | 8.77 | 0.86 | 0.76 | 0.07 | 0.10 | 0.09 |
| 69 | 30h | Pasir Tengah | 20 | 183 | 104.85 | 31.87 | 0.30 | 103.94 | 9.79 | -1.18 | -0.02 | 0.09 | -0.12 | 0.00 |
| 70 | 46b | Bogor (Kebun Raya) | 38 | 188 | 132.79 | 30.83 | 0.23 | 134.06 | 8.33 | 0.06 | 0.96 | 0.06 | 0.01 | 0.12 |
| 71 | 47 | Buitenzorg (Landbouw) | 14 | 171 | 125.64 | 23.98 | 0.19 | 122.65 | 8.22 | 1.57 | 0.10 | 0.07 | 0.19 | 0.01 |
| 72 | 48 | Bogor (Balai Pert.) | 41 | 158 | 122.39 | 16.91 | 0.14 | 122.35 | 5.14 | -0.06 | 0.38 | 0.04 | -0.01 | 0.07 |
| 73 | 48b | Hambalang | 47 | 350 | 145.83 | 49.70 | 0.34 | 138.62 | 11.47 | 1.43 | 0.89 | 0.08 | 0.12 | 0.08 |
| 74 | 48c | Pasir Gadung | 13 | 168 | 135.54 | 21.72 | 0.16 | 136.53 | 6.92 | -0.22 | 0.76 | 0.05 | -0.03 | 0.11 |
| 75 | 48d | Keb. Percobaan Bogor (CPV.) | 52 | 196 | 114.77 | 34.93 | 0.30 | 115.38 | 9.99 | -0.54 | 1.32 | 0.09 | -0.05 | 0.13 |
| 76 | 49a | Muara | 36 | 173 | 120.06 | 22.19 | 0.18 | 119.82 | 5.79 | 0.31 | 0.44 | 0.05 | 0.05 | 0.08 |
| 77 | 49b | Astana Gede | 12 | 153 | 119.42 | 20.46 | 0.17 | 117.63 | 6.90 | 1.50 | 0.73 | 0.06 | 0.22 | 0.11 |
| 78 | 49c | Cimanglid | 10 | 145 | 115.70 | 18.02 | 0.16 | 115.63 | 5.91 | -0.30 | 0.43 | 0.05 | -0.05 | 0.07 |
| 79 | 49d | Palasari | 10 | 182 | 142.10 | 28.22 | 0.20 | 141.43 | 10.82 | -0.05 | -0.60 | 0.08 | 0.00 | -0.06 |
| 80 | 52 | Ciapus | 28 | 208 | 136.25 | 31.33 | 0.23 | 134.16 | 9.12 | 0.75 | 1.31 | 0.07 | 0.08 | 0.14 |
| 81 | 53 | Cicalobak | 25 | 190 | 139.12 | 29.84 | 0.21 | 141.12 | 8.88 | -1.52 | 1.19 | 0.06 | -0.17 | 0.13 |
| 82 | 54 | Warungloa | 31 | 200 | 137.87 | 31.70 | 0.23 | 136.10 | 11.09 | 0.77 | -0.37 | 0.08 | 0.07 | -0.03 |
| 83 | 55 | Pasirkaret | 34 | 202 | 121.62 | 31.25 | 0.26 | 122.47 | 8.23 | -0.46 | 0.49 | 0.07 | -0.06 | 0.06 |
| 84 | 56 | Gunung Geulis | 34 | 209 | 124.44 | 30.45 | 0.24 | 123.36 | 7.07 | 0.54 | 1.15 | 0.06 | 0.08 | 0.16 |
| 85 | 56a | Katulampa | 33 | 185 | 122.05 | 28.24 | 0.23 | 120.97 | 8.93 | 0.62 | 0.27 | 0.07 | 0.07 | 0.03 |
| 86 | 57 | Pasirangin | 26 | 170 | 126.19 | 23.03 | 0.18 | 125.31 | 7.35 | 0.86 | 0.39 | 0.06 | 0.12 | 0.05 |
| 87 | 58 | Clogrek | 26 | 200 | 131.62 | 30.74 | 0.23 | 129.43 | 9.17 | 0.87 | 1.63 | 0.07 | 0.09 | 0.18 |
| 88 | 59a | Ciawi | 30 | 245 | 128.60 | 37.43 | 0.29 | 123.91 | 9.55 | 1.77 | 1.20 | 0.08 | 0.19 | 0.13 |
| 89 | 60 | Pasirpogor | 52 | 192 | 119.69 | 37.72 | 0.32 | 120.62 | 10.84 | -0.26 | 1.31 | 0.09 | -0.02 | 0.12 |
| 90 | 60a | Curug Agung | 13 | 225 | 151.23 | 40.15 | 0.27 | 151.55 | 11.58 | 0.22 | -0.51 | 0.08 | 0.02 | -0.04 |
| 91 | 61 | Ciburajut | 52 | 237 | 117.85 | 29.86 | 0.25 | 115.88 | 7.22 | 0.00 | 0.51 | 0.06 | 0.00 | 0.07 |
| 92 | 62 | Cibogo | 26 | 190 | 137.54 | 29.10 | 0.21 | 137.00 | 9.81 | 0.53 | -0.13 | 0.07 | 0.05 | -0.01 |
| 93 | 63 | Srogol | 59 | 325 | 119.73 | 48.98 | 0.41 | 112.56 | 9.69 | 1.93 | 1.46 | 0.09 | 0.20 | 0.15 |
| 94 | 64 | Cinegara | 26 | 280 | 123.69 | 48.68 | 0.39 | 113.84 | 10.66 | 3.80 | 2.35 | 0.09 | 0.36 | 0.22 |
| 95 | 65 | Kipare | 25 | 160 | 113.56 | 25.42 | 0.22 | 112.65 | 8.55 | 0.81 | -0.01 | 0.08 | 0.10 | 0.00 |
| 96 | 65a | Poncawati | 12 | 155 | 105.67 | 22.66 | 0.21 | 104.30 | 6.37 | -0.47 | 0.87 | 0.06 | -0.07 | 0.14 |
| 97 | 66 | Tapos | 50 | 175 | 103.38 | 37.82 | 0.37 | 104.29 | 12.10 | -0.51 | 0.53 | 0.12 | -0.04 | 0.04 |
| 98 | 67 | Cidokom | 62 | 220 | 106.79 | 37.18 | 0.35 | 105.73 | 10.99 | 0.09 | 0.72 | 0.10 | 0.01 | 0.07 |
| 99 | 68 | Cikopo | 100 | 321 | 118.69 | 45.85 | 0.39 | 111.01 | 10.29 | 2.42 | 1.37 | 0.09 | 0.24 | 0.13 |
| 100 | 69 | Arca Domas | 49 | 321 | 102.57 | 42.70 | 0.42 | 96.89 | 8.72 | 0.80 | 0.85 | 0.09 | 0.09 | 0.10 |
| 101 | 70 | Cicapit (Leumaneundeut, Pekancilan) | 60 | 312 | 100.55 | 41.08 | 0.41 | 96.34 | 8.02 | 0.66 | 1.61 | 0.08 | 0.08 | 0.20 |
| 102 | 70a | Panjang | 74 | 285 | 99.66 | 38.43 | 0.39 | 96.43 | 9.49 | 0.65 | 0.67 | 0.10 | 0.07 | 0.07 |
| 103 | 70b | Babakan/Sukagalih | 23 | 184 | 108.70 | 33.86 | 0.31 | 107.23 | 10.28 | 1.13 | 0.38 | 0.10 | 0.11 | 0.04 |
| 104 | 71 | Alun-Alun | 25 | 160 | 102.32 | 23.37 | 0.23 | 99.18 | 6.34 | 0.92 | 0.81 | 0.06 | 0.15 | 0.13 |
| 105 | 74 | Gunungmas (Naringgul) | 53 | 215 | 111.19 | 30.70 | 0.28 | 107.60 | 8.82 | 1.16 | 0.56 | 0.08 | 0.13 | 0.06 |
| 106 | 76 | Pabrik Gunungmas | 89 | 240 | 110.22 | 34.66 | 0.31 | 106.91 | 9.49 | 0.82 | 0.73 | 0.09 | 0.09 | 0.08 |
| 107 | 77 | Mandalawangi | 25 | 185 | 111.36 | 32.65 | 0.29 | 109.09 | 11.03 | 1.21 | -0.68 | 0.10 | 0.11 | -0.06 |
| 108 | 78 | Cilengsir | 31 | 161 | 114.48 | 21.00 | 0.18 | 114.25 | 6.47 | 0.28 | 0.24 | 0.06 | 0.04 | 0.00 |
| 109 | 78a | Bekasi (camat) | 57 | 250 | 109.60 | 45.10 | 0.41 | 103.36 | 12.20 | 2.61 | 1.19 | 0.12 | 0.21 | 0.10 |
| 110 | 78b | Muara Bakti | 20 | 174 | 89.50 | 33.42 | 0.37 | 83.80 | 8.01 | 1.83 | 1.16 | 0.10 | 0.23 | 0.15 |
| 111 | 78c | Gabus/Cibitung | 37 | 265 | 119.00 | 50.01 | 0.42 | 112.41 | 14.20 | 2.02 | 0.36 | 0.13 | 0.14 | 0.03 |
| 112 | 78d | Telukbuyung | 55 | 250 | 128.75 | 46.63 | 0.36 | 125.02 | 13.56 | 1.84 | 0.94 | 0.11 | 0.14 | 0.07 |
| 113 | 78e | Tambun I (Perk.) | 24 | 165 | 93.83 | 30.07 | 0.32 | 92.03 | 9.46 | 1.00 | -0.21 | 0.10 | 0.11 | -0.02 |
| 114 | 78f | Tambun II (Perk.) | 12 | 278 | 106.42 | 61.80 | 0.58 | 94.26 | 11.97 | 0.71 | 0.61 | 0.13 | 0.06 | 0.05 |
| 115 | 78j | Bekasi (Patal) | 13 | 400 | 156.00 | 119.17 | 0.76 | 134.53 | 34.41 | 12.20 | 2.39 | 0.26 | 0.35 | 0.07 |
| 116 | 80 | Klapanunggal | 42 | 190 | 108.90 | 30.51 | 0.28 | 108.01 | 9.76 | 0.01 | 0.02 | 0.09 | 0.00 | 0.00 |

Atas dasar tersebut, maka analisis frekuensi regional dilakukan agar dapat mengatasi permasalahan data yang terbatas. Seperti yang telah dijelaskan dalam metodologi penelitian, bahwa analisis frekuensi regional digunakan dengan menggabungkan beberapa pos hujan yang memiliki karakteristik data yang sama sehingga jumlah data menjadi lebih panjang. Jumlah data yang lebih panjang dalam sebuah kelompok dapat memberikan keuntungan untuk memprediksi curah hujan rancangan dengan periode ulang yang lebih panjang.

a. Parameter TL-momen

Analisis frekuensi regional terhadap data hujan harian maksimum di DAS Jakarta dilakukan dengan menggunakan pendekatan TL-momen untuk menentukan besarnya parameter fungsi distribusi. Parameter-parameter tersebut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan seperti yang telah dikemukakan dalam metodologi. Adapun parameter TL-momen hasil perhitungan dari masing-masing pos hujan dapat dilihat pada Tabel 3.

b. Pemilihan Data Pos Hujan

Penyeleksian data dari masing-masing pos hujan sangat penting untuk mendapatkan kualitas data yang baik. Penyeleksian data termasuk yang telah dilakukan sebelumnya mulai dari pengecekan secara manual dan secara statistik. Setelah dilakukan kedua hal tersebut, langkah berikutnya melakukan penyeleksian terhadap pos hujan yang satu dengan pos hujan yang lainnya yang memiliki kesamaan karakteristik dengan kelompoknya. Untuk menentukan hal ini, maka diperlukan sebuah pengujian *discordancy*. Nilai *discordancy* (D) > 3 dari suatu pos hujan dinyatakan menyimpang dari kelompoknya.

Pengujian *discordancy* dilakukan terhadap 116 pos hujan yang lolos dari tahapan penyeleksian secara manual dan statistik. Seluruh pos hujan tersebut dikelompokkan menjadi satu group untuk dilakukan pengujian *discordancy*. Hasil pengujian *discordancy* menunjukkan bahwa pos hujan tersebut tidak memiliki karakteristik yang sama satu dengan lainnya karena terdapat beberapa pos yang menyimpang dari kelompok. Pos hujan yang menyimpang atau memiliki *discordancy* nilai $D > 3$ terdapat 7 pos hujan (dalam hal ini terhadap seluruh data yang digunakan). Pos hujan yang masuk dalam kriteria tersebut adalah sebagai berikut: Cilincing (26d), Manggarai (28), (28d), Cipinang Melayu (29a), Sudimara (31), Cicalobak (53), dan Bekasi_Patal (78j). Adapun pos hujan yang menyimpang dari kelompoknya tersebut dapat dilihat dalam grafik perbandingan TL-momen seperti pada Gambar 4. Terjadinya *discordancy* pada beberapa pos hujan tersebut

menunjukkan bahwa karakteristik pos hujan tersebut tidak sama terhadap seluruh pos yang ada.

c. Analisis homogenitas Region

Pengujian *discordancy* digunakan untuk melihat penyimpangan karakteristik pos hujan terhadap rata-rata kelompoknya. Uji ini telah dilakukan dan dijelaskan pada subbab sebelumnya. Uji selanjutnya adalah uji heterogenitas dari sekelompok pos hujan. Pengujian ini bertujuan untuk melihat pos hujan yang tergabung menjadi satu kelompok memiliki kondisi data yang homogen antara satu pos dengan pos yang lainnya.

Uji heterogenitas sekelompok data dapat dilakukan setelah melakukan perpanjangan data hujan harian maksimum dari masing-masing pos hujan dengan menggunakan *Monte-Carlo Simulation* (MCS). Perpanjangan data dilakukan sebanyak 1000 data dengan pengulangan sebanyak 15 kali. Data yang telah diperpanjang tersebut, kemudian dihitung parameter statistik TL-momennya sehingga diperoleh sebanyak 15 parameter TL-momen dari kelompok tersebut. Semua parameter TL-momen untuk kelompok tersebut, selanjutnya diambil nilai rata-ratanya untuk dibandingkan dengan parameter TL-momen data asli. Berdasarkan parameter TL-momen hasil MCS dan TL-momen data asli, maka dapat dihitung besarnya nilai *heterogeneity* dari kelompok tersebut. Hasil perhitungan *heterogeneity* dapat dilihat pada Tabel 4, dimana dapat dilihat bahwa nilai H (*heterogeneity*) sebesar -6.752. Hal ini menunjukkan bahwa data dalam kelompok tersebut homogen. Kriteria untuk suatu *region* dikatakan homogen apabila memiliki nilai $H < 1$.

d. Penentuan Parameter Distribusi

Fungsi distribusi yang digunakan untuk menentukan besarnya hujan rancangan di DAS Jakarta adalah dengan menggunakan *Generalized Extremes Value* (GEV), *Generalized Pareto* (GPA), dan *Generalized Logistic Distribution* (GLO). Hasil perhitungan dari ketiga distribusi tersebut kemudian disebut sebagai *growth factor*, yang digunakan untuk menentukan besarnya hujan rancangan dari masing-masing pos hujan. Parameter dari masing-masing distribusi digunakan sebagai perhitungan besarnya nilai *growth factor* dapat dilihat pada Tabel 5. Hasil perhitungan dari beberapa distribusi yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 5 yang kemudian digunakan sebagai *growth factor*. Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat bahwa metode distribusi GPA tidak akurat untuk prediksi hujan dengan periode ulang lebih besar dari 10 tahun.

e. Pemilihan Distribusi Yang Sesuai

Beberapa metode digunakan dalam menentukan fungsi distribusi yang sesuai. Salah satunya adalah dengan menggunakan diagram *TL-moments ratio*. Dalam diagram tersebut, dapat menentukan fungsi distribusi yang sesuai secara kasat mata. Diagram *TL-moments ratio* di DAS

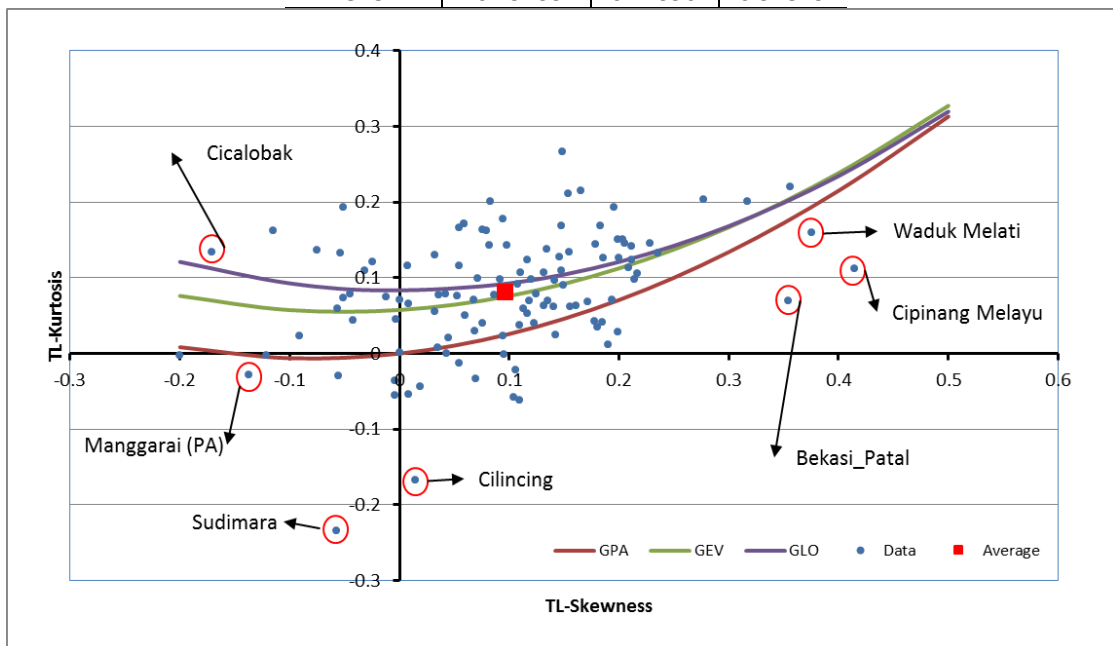
Jakarta dapat dilihat pada Gambar 4. Dari gambar tersebut terlihat bahwa distribusi yang sesuai untuk analisis regional mengikuti GEV dan GLO. Untuk memastikan distribusi yang terbaik dari kedua distribusi ini, dilakukan pengujian dengan *Z distr* sehingga dapat diketahui secara pasti distribusi yang terbaik.

Tabel 4 Hasil pengujian heterogenitas

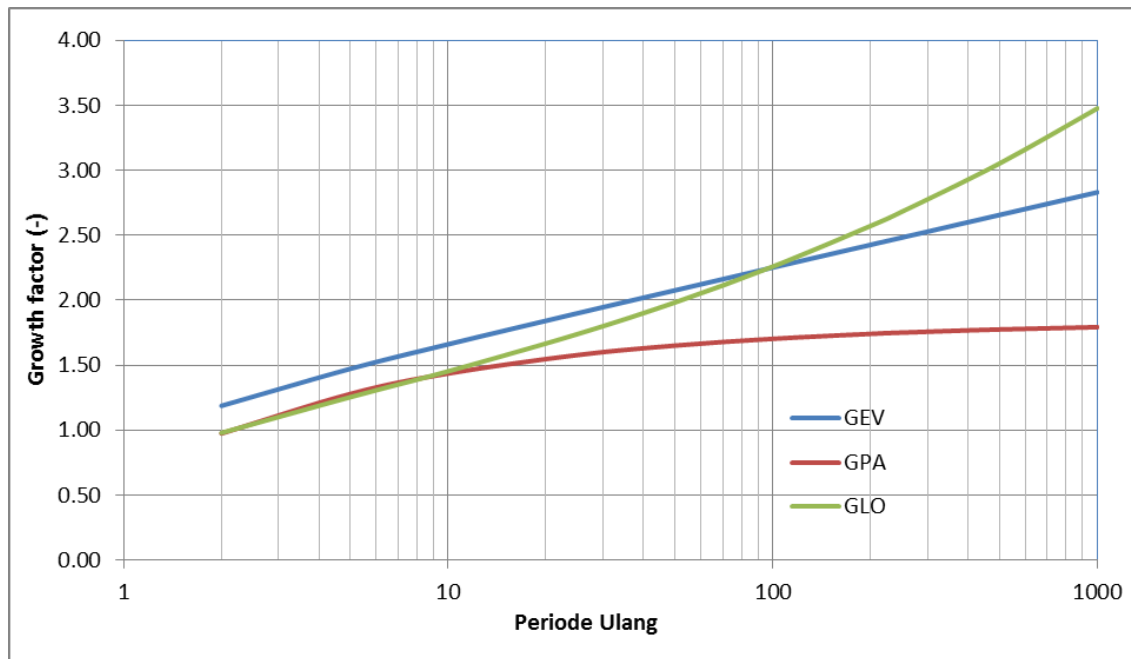
| Data Simulasi | VR |
|------------------|---------------|
| 1 | 0.051 |
| 2 | 0.051 |
| 3 | 0.050 |
| 4 | 0.053 |
| 5 | 0.050 |
| 6 | 0.050 |
| 7 | 0.051 |
| 8 | 0.051 |
| 9 | 0.036 |
| 10 | 0.051 |
| 11 | 0.052 |
| 12 | 0.050 |
| 13 | 0.051 |
| 14 | 0.054 |
| 15 | 0.053 |
| Rata-Rata | 0.050 |
| Sdev | 0.004170 |
| Data Asli | 0.021965 |
| H | -6.752 |

Tabel 5 Nilai parameter masing-masing distribusi

| Distribusi | k | α | ξ |
|------------|----------|----------|---------|
| GEV | 0.00021 | 0.25200 | 0.88425 |
| GPA | 0.47613 | 0.57170 | 0.63628 |
| GLO | -0.19133 | 0.17390 | 0.97823 |



Gambar 4 *TL-moment ratio* seluruh pos hujan



Gambar 5 Grafik *growth factor* untuk masing-masing distribusi

Berdasarkan hasil pengujian, diketahui nilai *Z distr* sekitar 0.003 untuk GEV dan 0.044 untuk GLO. Nilai *Z* distribusi yang mendekati 0 merupakan hasil yang terbaik yang layak untuk dipilih dalam menentukan distribusi peluang. Dalam hal ini, distribusi GEV merupakan pilihan yang tepat untuk digunakan di DAS Jakarta.

4 Curah Hujan Rancangan di DAS Jakarta

Curah hujan rancangan untuk DAS Jakarta yang dihitung berdasarkan hasil analisis frekuensi regional dengan menggunakan pendekatan TL-momen memerlukan *index flood* dan *growth factor*. *Index flood* untuk masing-masing pos hujan tersebut adalah nilai rata-rata dari hujan harian maksimum dari masing-masing pos hujan. Sementara untuk nilai *growth factor* ditentukan berdasarkan distribusi peluang yang digunakan, dalam hal ini menggunakan GEV. Nilai *growth factor* untuk masing-masing pos hujan yang berada dalam satu *region* atau kelompok memiliki nilai yang sama, sehingga yang membedakan hasil dari masing-masing pos hujan tersebut adalah nilai *index flood* atau nilai rata-rata hujan harian maksimum tahunan.

Curah hujan rancangan di DAS Jakarta dilakukan berdasarkan pada masing-masing pos hujan yang bergabung dalam satu kelompok. Hasil perhitungan hujan rancangan di masing-masing pos hujan yang terdapat di DAS Jakarta dapat dilihat pada Tabel 6. Berdasarkan Tabel 6 dapat terlihat bahwa, hujan rancangan yang dihitung di

masing-masing pos hujan tersebut mulai dari periode ulang 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 250, 500, dan 1000 tahun. Hujan rancangan yang dihasilkan dari masing-masing pos hujan tersebut terdapat tiga pos hujan yang memiliki hujan rancangan lebih besar dari 400 mm untuk periode ulang 1000 tahun. Pos hujan tersebut adalah Hambalang (48b), Palasari (49d) dan Curug Agung (60a).

KESIMPULAN

Hujan rancangan dengan menggunakan pendekatan analisis frekuensi regional merupakan salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk mengantisipasi permasalahan data yang terbatas. Hasil kajian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa pendekatan TL-momen untuk memperkirakan besarnya hujan rancangan memberikan hasil yang sangat baik. Beberapa metode distribusi yang digunakan menunjukkan bahwa metode GEV dan GLO lebih baik bila dibandingkan dengan GPA. Dari kedua metode yang terbaik tersebut hanya GEV yang memberikan nilai kesalahan terkecil berdasarkan uji *Z* distribusi. Perbedaan hasil dari kedua distribusi tersebut tidak terlalu besar untuk periode ulang kurang dari 100 tahun, namun untuk periode ulang lebih besar 100 tahun memberikan hasil perbedaan yang cukup besar, disebabkan karena metode GLO pada periode ulang tersebut memiliki grafik melengkung keatas, sementara metode GEV memiliki grafik yang lurus.

Tabel 6 Hujan rancangan dari beberapa pos hujan dengan distribusi GEV

| No. | No.Sta | Nama Sta. | n | max | Mean | Stdev | GEV | | | | | | | | | |
|-----|--------|----------------------------------|-----|-------|--------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| | | | | | | | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 | 200 | 250 | 500 | 1000 |
| 1 | 22 | Edam | 61 | 240 | 111.90 | 40.51 | 133 | 165 | 186 | 213 | 232 | 252 | 272 | 278 | 297 | 317 |
| 2 | 23a | Kuiper (Eiland) | 21 | 289 | 131.57 | 54.03 | 156 | 194 | 219 | 250 | 273 | 296 | 319 | 327 | 350 | 372 |
| 3 | 24 | Pangkalan | 23 | 216 | 108.83 | 50.46 | 129 | 160 | 181 | 207 | 226 | 245 | 264 | 270 | 289 | 308 |
| 4 | 24a | Teluknaga | 34 | 223 | 112.21 | 47.12 | 133 | 165 | 186 | 213 | 233 | 253 | 272 | 279 | 298 | 318 |
| 5 | 24b | Empang Kamal Muara | 20 | 160 | 100.70 | 24.05 | 120 | 148 | 167 | 191 | 209 | 227 | 244 | 250 | 268 | 285 |
| 6 | 25 | Mauk | 58 | 290 | 104.88 | 42.63 | 124 | 154 | 174 | 199 | 218 | 236 | 254 | 260 | 279 | 297 |
| 7 | 25a | Kresiek | 62 | 173 | 90.53 | 25.90 | 107 | 133 | 150 | 172 | 188 | 204 | 220 | 225 | 241 | 256 |
| 8 | 25b | Blaraja | 67 | 200 | 95.58 | 29.28 | 113 | 141 | 159 | 182 | 198 | 215 | 232 | 237 | 254 | 271 |
| 9 | 25c | Cilongok | 29 | 300 | 115.14 | 48.05 | 137 | 169 | 191 | 219 | 239 | 259 | 279 | 286 | 306 | 326 |
| 10 | 25g | Sapatan | 19 | 192 | 99.84 | 32.38 | 118 | 147 | 166 | 190 | 207 | 225 | 242 | 248 | 265 | 283 |
| 11 | 26 | Tanjungpriuk | 88 | 260 | 120.81 | 45.65 | 143 | 178 | 201 | 229 | 251 | 272 | 293 | 300 | 321 | 342 |
| 12 | 26a | Cengkareng | 78 | 397 | 102.97 | 60.13 | 122 | 152 | 171 | 196 | 214 | 232 | 250 | 256 | 274 | 291 |
| 13 | 26b | Pekulitan | 15 | 151 | 98.07 | 35.43 | 116 | 144 | 163 | 186 | 204 | 221 | 238 | 243 | 261 | 278 |
| 14 | 26c | Bandan / Aquarium | 16 | 205 | 99.31 | 48.65 | 118 | 146 | 165 | 189 | 206 | 224 | 241 | 247 | 264 | 281 |
| 15 | 27 | Batavia/Jakarta Pusat | 150 | 286 | 111.13 | 40.98 | 132 | 164 | 185 | 211 | 231 | 250 | 270 | 276 | 295 | 315 |
| 16 | 27b | Kemayoran | 33 | 330 | 111.61 | 52.37 | 132 | 164 | 185 | 212 | 232 | 251 | 271 | 277 | 296 | 316 |
| 17 | 28a | Manggarai | 22 | 164 | 110.95 | 24.42 | 132 | 163 | 184 | 211 | 230 | 250 | 269 | 275 | 295 | 314 |
| 18 | 28c | Setiabudi | 12 | 201 | 118.67 | 42.60 | 141 | 175 | 197 | 225 | 246 | 267 | 288 | 295 | 315 | 336 |
| 19 | 28e/h | Pintu Air Karet | 20 | 200 | 100.80 | 46.47 | 120 | 148 | 167 | 191 | 209 | 227 | 245 | 250 | 268 | 285 |
| 20 | 29 | Jatinegara (Mister Cornelis) | 69 | 217 | 111.25 | 38.32 | 132 | 164 | 185 | 211 | 231 | 250 | 270 | 276 | 296 | 315 |
| 21 | 29b | Klender ((BPMD) | 16 | 215 | 119.38 | 48.88 | 142 | 176 | 198 | 227 | 248 | 269 | 290 | 296 | 317 | 338 |
| 22 | 30 | Tangerang | 88 | 263 | 99.50 | 38.83 | 118 | 146 | 165 | 189 | 207 | 224 | 241 | 247 | 264 | 282 |
| 23 | 30b | Tigaraksa | 46 | 170 | 91.67 | 29.17 | 109 | 135 | 152 | 174 | 190 | 206 | 222 | 228 | 244 | 259 |
| 24 | 30c | Parangpanjang | 60 | 250 | 104.83 | 37.61 | 124 | 154 | 174 | 199 | 218 | 236 | 254 | 260 | 279 | 297 |
| 25 | 30e | Lengkong Timur | 48 | 220 | 98.29 | 34.06 | 117 | 145 | 163 | 187 | 204 | 221 | 238 | 244 | 261 | 278 |
| 26 | 30f | Tanah Tinggi | 17 | 197 | 90.76 | 32.83 | 108 | 134 | 151 | 172 | 188 | 204 | 220 | 225 | 241 | 257 |
| 27 | 30h | Pasir Tengah | 33 | 205 | 89.27 | 34.38 | 106 | 131 | 148 | 170 | 185 | 201 | 217 | 222 | 237 | 253 |
| 28 | 31a | Pondok Jagung | 21 | 190 | 92.05 | 34.26 | 109 | 136 | 153 | 175 | 191 | 207 | 223 | 229 | 245 | 261 |
| 29 | 31a | Pondok Jagung | 21 | 190 | 92.05 | 34.26 | 109 | 136 | 153 | 175 | 191 | 207 | 223 | 229 | 245 | 261 |
| 30 | 31b | Perk. Karawaci | 23 | 136 | 86.09 | 29.78 | 102 | 127 | 143 | 164 | 179 | 194 | 209 | 214 | 229 | 244 |
| 31 | 32a | Kebayoran Lama | 33 | 201 | 96.03 | 31.77 | 114 | 141 | 160 | 182 | 199 | 216 | 233 | 238 | 255 | 272 |
| 32 | 32b | Kebayoran Baru | 16 | 170 | 78.56 | 39.74 | 93 | 116 | 130 | 149 | 163 | 177 | 191 | 195 | 209 | 222 |
| 33 | 32c | Pondok Betung | 35 | 339.8 | 116.46 | 48.93 | 138 | 171 | 193 | 221 | 242 | 262 | 283 | 289 | 309 | 330 |
| 34 | 33 | Pasar Minggu | 86 | 214 | 103.72 | 28.44 | 123 | 153 | 172 | 197 | 215 | 234 | 252 | 257 | 276 | 294 |
| 35 | 33a | Ragunan | 60 | 182 | 97.25 | 27.17 | 115 | 143 | 162 | 185 | 202 | 219 | 236 | 241 | 258 | 275 |
| 36 | 33b | Jatipadang | 50 | 176 | 97.11 | 31.74 | 115 | 143 | 161 | 184 | 202 | 219 | 236 | 241 | 258 | 275 |
| 37 | 33c | Cililitan (Halim Perdana Kusuma) | 41 | 250 | 96.05 | 42.11 | 114 | 141 | 160 | 182 | 199 | 216 | 233 | 238 | 255 | 272 |
| 38 | 33d | Pondok-Gede | 23 | 365 | 111.26 | 59.31 | 132 | 164 | 185 | 211 | 231 | 251 | 270 | 276 | 296 | 315 |
| 39 | 33e | Tanjung Barat | 16 | 166 | 95.44 | 31.38 | 113 | 140 | 159 | 181 | 198 | 215 | 232 | 237 | 254 | 270 |
| 40 | 34a | Serpong | 72 | 199 | 100.69 | 29.55 | 120 | 148 | 167 | 191 | 209 | 227 | 244 | 250 | 268 | 285 |
| 41 | 34b | Kalimati | 34 | 160 | 103.15 | 36.86 | 122 | 152 | 171 | 196 | 214 | 232 | 250 | 256 | 274 | 292 |
| 42 | 35 | Ciputat | 33 | 267 | 95.64 | 43.16 | 113 | 141 | 159 | 182 | 199 | 215 | 232 | 237 | 254 | 271 |
| 43 | 35a | Paw eja | 18 | 142 | 85.28 | 25.39 | 101 | 126 | 142 | 162 | 177 | 192 | 207 | 212 | 227 | 241 |
| 44 | 36 | Depok | 111 | 249 | 119.79 | 39.18 | 142 | 176 | 199 | 228 | 249 | 270 | 291 | 297 | 318 | 339 |
| 45 | 36a | Parung | 51 | 225 | 101.55 | 33.32 | 121 | 149 | 169 | 193 | 211 | 229 | 246 | 252 | 270 | 287 |
| 46 | 36b | Sawangan | 43 | 231 | 99.37 | 40.59 | 118 | 146 | 165 | 189 | 206 | 224 | 241 | 247 | 264 | 281 |
| 47 | 36c | Gunung Sindur | 44 | 212 | 100.66 | 41.19 | 119 | 148 | 167 | 191 | 209 | 227 | 244 | 250 | 267 | 285 |
| 48 | 37 | Bojonggede | 88 | 190 | 113.92 | 27.28 | 135 | 168 | 189 | 216 | 237 | 257 | 276 | 283 | 303 | 322 |
| 49 | 37a | Land Bojonggede | 28 | 161 | 119.64 | 23.27 | 142 | 176 | 199 | 227 | 248 | 269 | 290 | 297 | 318 | 339 |
| 50 | 37b | Citajam | 35 | 216 | 111.00 | 31.00 | 132 | 163 | 184 | 211 | 230 | 250 | 269 | 276 | 295 | 314 |

Tabel 6 Hujan rancangan dari beberapa pos hujan dengan distribusi GEV (lanjutan)

| No. | No.Sta | Nama Sta. | n | max | Mean | Stdev | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 | 200 | 250 | 500 | 1000 |
|-----|--------|------------------------------------|-----|-----|--------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 51 | 37c | Cibinong | 16 | 180 | 111.19 | 32.47 | 132 | 164 | 185 | 211 | 231 | 250 | 270 | 276 | 295 | 315 |
| 52 | 38b | Semplak | 28 | 192 | 112.93 | 28.24 | 134 | 166 | 188 | 214 | 234 | 254 | 274 | 280 | 300 | 320 |
| 53 | 39 | Ciluar (Land Ciluar) | 25 | 206 | 132.24 | 31.74 | 157 | 195 | 220 | 251 | 275 | 298 | 321 | 328 | 351 | 374 |
| 54 | 40 | Kedung Alang | 26 | 190 | 137.54 | 23.72 | 163 | 202 | 228 | 261 | 286 | 310 | 334 | 341 | 365 | 389 |
| 55 | 40a | Pasirmaung | 35 | 188 | 129.97 | 25.34 | 154 | 191 | 216 | 247 | 270 | 293 | 315 | 323 | 345 | 368 |
| 56 | 41 | Tegalkemang | 25 | 226 | 125.40 | 29.63 | 149 | 185 | 208 | 238 | 260 | 282 | 304 | 311 | 333 | 355 |
| 57 | 43 | Cimulang | 60 | 195 | 121.52 | 22.73 | 144 | 179 | 202 | 231 | 252 | 274 | 295 | 302 | 323 | 344 |
| 58 | 44 | Dramaga | 48 | 280 | 125.92 | 42.29 | 149 | 185 | 209 | 239 | 261 | 284 | 306 | 313 | 335 | 356 |
| 59 | 44a | Sindangbarang (Ond.Dramaga) | 16 | 172 | 110.88 | 29.31 | 132 | 163 | 184 | 211 | 230 | 250 | 269 | 275 | 295 | 314 |
| 60 | 45 | Ciblagung (Ciomas) | 13 | 250 | 136.85 | 39.83 | 162 | 201 | 227 | 260 | 284 | 308 | 332 | 340 | 364 | 387 |
| 61 | 45a | Ciomas | 46 | 301 | 131.76 | 41.79 | 156 | 194 | 219 | 250 | 274 | 297 | 320 | 327 | 350 | 373 |
| 62 | 45b | Pancasan (Ciblagung) | 17 | 156 | 131.82 | 16.18 | 156 | 194 | 219 | 250 | 274 | 297 | 320 | 327 | 350 | 373 |
| 63 | 30f | Tanah Tinggi | 110 | 260 | 128.55 | 32.65 | 153 | 189 | 214 | 244 | 267 | 289 | 312 | 319 | 342 | 364 |
| 64 | 30h | Pasir Tengah | 20 | 183 | 104.85 | 31.87 | 124 | 154 | 174 | 199 | 218 | 236 | 254 | 260 | 279 | 297 |
| 65 | 46b | Bogor (Kebun Raya) | 38 | 188 | 132.79 | 30.83 | 158 | 195 | 221 | 252 | 276 | 299 | 322 | 330 | 353 | 376 |
| 66 | 47 | Buitenzorg (Landbouw) | 14 | 171 | 125.64 | 23.98 | 149 | 185 | 209 | 239 | 261 | 283 | 305 | 312 | 334 | 356 |
| 67 | 48 | Bogor (Balai Pert.) | 41 | 158 | 122.39 | 16.91 | 145 | 180 | 203 | 232 | 254 | 276 | 297 | 304 | 325 | 346 |
| 68 | 48b | Hambalang | 47 | 350 | 145.83 | 49.70 | 173 | 215 | 242 | 277 | 303 | 328 | 354 | 362 | 387 | 413 |
| 69 | 48c | Pasir Gadung | 13 | 168 | 135.54 | 21.72 | 161 | 200 | 225 | 257 | 281 | 305 | 329 | 336 | 360 | 384 |
| 70 | 48d | Keb. Percobaan Bogor (CPV.) | 52 | 196 | 114.77 | 34.93 | 136 | 169 | 191 | 218 | 238 | 258 | 278 | 285 | 305 | 325 |
| 71 | 49a | Muara | 36 | 173 | 120.06 | 22.19 | 142 | 177 | 199 | 228 | 249 | 270 | 291 | 298 | 319 | 340 |
| 72 | 49b | Astana Gede | 12 | 153 | 119.42 | 20.46 | 142 | 176 | 198 | 227 | 248 | 269 | 290 | 296 | 317 | 338 |
| 73 | 49c | Cimanglid | 10 | 145 | 115.70 | 18.02 | 137 | 170 | 192 | 220 | 240 | 261 | 281 | 287 | 307 | 328 |
| 74 | 49d | Palasari | 10 | 182 | 142.10 | 28.22 | 169 | 209 | 236 | 270 | 295 | 320 | 345 | 353 | 378 | 402 |
| 75 | 52 | Ciapus | 28 | 208 | 136.25 | 31.33 | 162 | 201 | 226 | 259 | 283 | 307 | 331 | 338 | 362 | 386 |
| 76 | 54 | Warungloa | 31 | 200 | 137.87 | 31.70 | 164 | 203 | 229 | 262 | 286 | 310 | 335 | 342 | 366 | 390 |
| 77 | 55 | Pasirkaret | 34 | 202 | 121.62 | 31.25 | 144 | 179 | 202 | 231 | 253 | 274 | 295 | 302 | 323 | 344 |
| 78 | 56 | Gunung Geulis | 34 | 209 | 124.44 | 30.45 | 148 | 183 | 207 | 236 | 258 | 280 | 302 | 309 | 331 | 352 |
| 79 | 56a | Katulampa | 33 | 185 | 122.05 | 28.24 | 145 | 180 | 203 | 232 | 253 | 275 | 296 | 303 | 324 | 345 |
| 80 | 57 | Pasirangin | 26 | 170 | 126.19 | 23.03 | 150 | 186 | 210 | 240 | 262 | 284 | 306 | 313 | 335 | 357 |
| 81 | 58 | Clogrek | 26 | 200 | 131.62 | 30.74 | 156 | 194 | 219 | 250 | 273 | 296 | 319 | 327 | 350 | 373 |
| 82 | 59a | Ciawi | 30 | 245 | 128.60 | 37.43 | 153 | 189 | 214 | 244 | 267 | 290 | 312 | 319 | 342 | 364 |
| 83 | 60 | Pasirpogor | 52 | 192 | 119.69 | 37.72 | 142 | 176 | 199 | 227 | 249 | 270 | 290 | 297 | 318 | 339 |
| 84 | 60a | Curug Agung | 13 | 225 | 151.23 | 40.15 | 179 | 223 | 251 | 287 | 314 | 341 | 367 | 375 | 402 | 428 |
| 85 | 61 | Ciburajut | 52 | 237 | 117.85 | 29.86 | 140 | 173 | 196 | 224 | 245 | 265 | 286 | 293 | 313 | 334 |
| 86 | 62 | Cibogo | 26 | 190 | 137.54 | 29.10 | 163 | 202 | 228 | 261 | 286 | 310 | 334 | 341 | 365 | 389 |
| 87 | 63 | Srogol | 59 | 325 | 119.73 | 48.98 | 142 | 176 | 199 | 227 | 249 | 270 | 290 | 297 | 318 | 339 |
| 88 | 64 | Cinagara | 26 | 280 | 123.69 | 48.68 | 147 | 182 | 205 | 235 | 257 | 279 | 300 | 307 | 329 | 350 |
| 89 | 65 | Kipare | 25 | 160 | 113.56 | 25.42 | 135 | 167 | 189 | 216 | 236 | 256 | 276 | 282 | 302 | 321 |
| 90 | 65a | Poncawati | 12 | 155 | 105.67 | 22.66 | 125 | 156 | 176 | 201 | 219 | 238 | 256 | 262 | 281 | 299 |
| 91 | 66 | Tapos | 50 | 175 | 103.38 | 37.82 | 123 | 152 | 172 | 196 | 215 | 233 | 251 | 257 | 275 | 293 |
| 92 | 67 | Cidokom | 62 | 220 | 106.79 | 37.18 | 127 | 157 | 177 | 203 | 222 | 240 | 259 | 265 | 284 | 302 |
| 93 | 68 | Cikopo | 100 | 321 | 118.69 | 45.85 | 141 | 175 | 197 | 225 | 246 | 267 | 288 | 295 | 315 | 336 |
| 94 | 69 | Arca Domas | 49 | 321 | 102.57 | 42.70 | 122 | 151 | 170 | 195 | 213 | 231 | 249 | 255 | 272 | 290 |
| 95 | 70 | Cicapit (Leumaneundeut, Pekancian) | 60 | 312 | 100.55 | 41.08 | 119 | 148 | 167 | 191 | 209 | 226 | 244 | 250 | 267 | 285 |
| 96 | 70a | Panjang | 74 | 285 | 99.66 | 38.43 | 118 | 147 | 166 | 189 | 207 | 224 | 242 | 247 | 265 | 282 |
| 97 | 70b | Babakan/Sukagalih | 23 | 184 | 108.70 | 33.86 | 129 | 160 | 181 | 206 | 226 | 245 | 264 | 270 | 289 | 308 |
| 98 | 71 | Alun-Alun | 25 | 160 | 102.32 | 23.37 | 121 | 151 | 170 | 194 | 212 | 230 | 248 | 254 | 272 | 290 |
| 99 | 74 | Gunungmas (Naringgul) | 53 | 215 | 111.19 | 30.70 | 132 | 164 | 185 | 211 | 231 | 250 | 270 | 276 | 295 | 315 |
| 100 | 76 | Pabrik Gunungmas | 89 | 240 | 110.22 | 34.66 | 131 | 162 | 183 | 209 | 229 | 248 | 267 | 274 | 293 | 312 |
| 101 | 77 | Mandalawangi | 25 | 185 | 111.36 | 32.65 | 132 | 164 | 185 | 212 | 231 | 251 | 270 | 276 | 296 | 315 |
| 102 | 78 | Cilengsir | 31 | 161 | 114.48 | 21.00 | 136 | 169 | 190 | 217 | 238 | 258 | 278 | 284 | 304 | 324 |
| 103 | 78a | Bekasi (camat) | 57 | 250 | 109.60 | 45.10 | 130 | 161 | 182 | 208 | 228 | 247 | 266 | 272 | 291 | 310 |
| 104 | 78b | Muara Bakti | 20 | 174 | 89.50 | 33.42 | 106 | 132 | 149 | 170 | 186 | 202 | 217 | 222 | 238 | 253 |
| 105 | 78c | Gabus/Cibitung | 37 | 265 | 119.00 | 50.01 | 141 | 175 | 198 | 226 | 247 | 268 | 289 | 295 | 316 | 337 |
| 106 | 78d | Telukbuyung | 55 | 250 | 128.75 | 46.63 | 153 | 190 | 214 | 245 | 267 | 290 | 312 | 320 | 342 | 364 |
| 107 | 78e | Tambun I (Perk.) | 24 | 165 | 93.83 | 30.07 | 111 | 138 | 156 | 178 | 195 | 211 | 228 | 233 | 249 | 266 |
| 108 | 78f | Tambun II (Perk.) | 12 | 278 | 106.4 | 61.8 | 126 | 157 | 177 | 202 | 221 | 240 | 258 | 264 | 283 | 301 |
| 109 | 80 | Klapanunggal | 42 | 190 | 108.9 | 30.51 | 129 | 160 | 181 | 207 | 226 | 245 | 264 | 270 | 289 | 308 |

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, U.N.; Shabri A.B. dan Zakaria, Z.A., 2011. Flood Frequency Analysis of Annual Maximum Stream Flows using L-moments and TL-moments Approach. *Applied Mathematical Sciences*, Vol. 5, 2011, no. 5, 243 – 253.

Asquith, W.H., 2007. L-moments and TL-moments of the Generalized Lambda Distribution. *Computational Statistics & Data Analysis*. 51, 4484-4496.

Bílková, D., 2014a. L-moments and TL-moments as an Alternative Tool of Statistical Data Analysis. *Journal of Applied Mathematics and Physics*, 2014, 2, 919-929.

- Bílková, D., 2014b. Robust parameter estimations using L-moments, TL-moments and the order statistics. *American Journal of Applied Mathematics*, 2014, 2(2), 36-53.
- Bílková, D., 2015. Alternative Way of Statistical Data Analysis: L-moments and TL-moments of Probability Distribution. *International Journal of Mathematics Research* 4(1), 1–15.
- Dalrymple, T., 1960. *Flood frequency analyses*. Water Supply Paper 1543-A, U.S.Geological Survey, Reston, Va.
- Elamir E.A dan Scheult A.H., 2003. Trimmed L-moments. *Comput. Stat. Data Anal.* 43, 299-314.
- Elamir E.A., 2010. Optimal Choices for Trimming in Trimmed L-moment Method. *Applied Mathematical Sciences*, vol. 4, no 58, 2881–2890.
- Ginting, S., 2015. *Kajian dan Efektivitas Pengendalian Banjir di DKI Jakarta*. Tesis Magister Pengelolaan Sumber Daya Air, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Gubareva, T. S. dan Gartsman, B. I., 2010. Estimating Distribution Parameters of Extreme Hydrometeorological Characteristics by L-moment Method. *Water Resources*, 2010, Vol. 37, No. 4, pp. 437–445.
- Haan, C.T., 1977. *Statistical Method in Hydrology*. The Iowa State University Press/Ames.
- Hassan, B.G.H dan Ping, F., 2012. Regional Rainfall Frequency Analysis for the Luanhe Basin – by Using L-moments and Cluster Techniques. *International Conference on Environmental Science and Development (ICESD 2012)*, 5-7 January 2012, Hong Kong.
- Hosking, J.R.M dan Wallis, J.R., 1997. *Regional Frequency Analysis: an approach based on L-moments*. Cambridge University Press.
- Kite, G.W., 1988. *Frequency and Risk Analyses in Hydrology*. Water Resources Publications.
- Kumar, R dan Chatterjee, C., 2005. Regional Flood Frequency Analysis Using L-moments for North Brahmaputra Region of India. *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 10, No. 1, January 1, 2005.
- Lim, Y.H., 2007. Regional Flood Frequency Analysis of the Red River Basin Using L-moments Approach. *World Environmental and Water Resources Congress 2007: Restoring Our Natural Habitat*
- Liu, J.; Doan, C.D.; Liang, S.Y.; Sanders, R.; Dao, A.T. dan Fewtrell, T., 2014. Regional frequency analysis of extreme rainfall events in Jakarta. *Natural Hazard*.
- Modarres, 2007. Regional frequency distribution type of low flow in North of Iran by L-moments. *Water Resources Management*, 22(7), 823-841.
- Moniem, I.A. dan Selim, Y.M., 2009. TL-moments and L-moments Estimation for the Generalized Pareto Distribution. *Applied Mathematical Sciences*. 3(1), 43-52.
- Norbiato, D.; Borga, M.; Sangati, M.; dan Zanone, F., 2007. Regional frequency analysis of extreme precipitation in the eastern Italian Alps and the August 29, 2003 flash flood. *Journal of Hydrology (2007)* 345, 149– 166
- Noura A.T. Abu El-Magd, 2010. TL-moments of the exponentiated generalized extreme value distribution, *Journal of Advanced Research*, 1, 351–359.
- Rahmand, M.M; Sarkar, S.; Najafi, R.M dan Rai, R.K., 2013. Regional Extreme Rainfall Mapping for Bangladesh using L-moments Technique. *Journal of Hydrologic Engineering*. ASCE.
- Rao, A.R., dan Hamed, K.H., 2000. *Flood Frequency Analysis*. CRC Press.
- Saf, B., 2009. Regional flood frequency analysis using L-moments, for the west Mediterranean region of Turkey. *Water Resources Management*, 23(3), 531-558.
- Shabri A.B., Daud Z.M. dan Ariff N.M., 2011, Regional analysis of annual maximum rainfall using TL-moment method, *Theor. Appl. Climatol.*, 104,561–570.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tulisan ini merupakan hasil kajian pengembangan dari data yang digunakan dalam Tesis Magister Pengelolaan Sumber Daya Air, Institut Teknologi Bandung. Kepada pihak yang telah memberikan dukungan data seperti Dinas Tata Air Jakarta dan Balai Besar Wilayah Sungai Ciliwung-Cisadane diucapkan terima kasih.